



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERIA MECANICA**

“DISEÑO DE UNA LINEA DE PROCESADO PARA LA OBTENCION DE  
POLVO DE CAUCHO A BASE DE NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU)”

**Tesis previa a la obtención del  
Título de Ingeniero Mecánico**

**AUTORES:**

Carpio Ñauta Xavier Israel  
Medina Samaniego Raúl Fernando

**DIRECTOR:**

Ing. Fran Reinoso AVECILLAS

Cuenca, Septiembre del 2013

## **AUTORIA**

Nosotros, Medina Samaniego Raúl Fernando y Carpio Ñauta Xavier Israel, declaramos bajo juramento que los criterios, análisis, selección, opiniones, conclusiones y recomendaciones realizados en el presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores; y no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal, y que las referencias bibliográficas aquí mencionadas han sido consultadas para dicho proyecto.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual del presente trabajo realizado a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa institucional vigente.



**Medina Samaniego Raúl Fernando**



**Carpio Ñauta Xavier Israel**

**CERTIFICACION:**

Certifico que bajo mi dirección los señores Medina Samaniego Raúl Fernando y Carpio Ñauta Xavier Israel desarrollaron el proyecto titulado: “DISEÑO DE UNA LINEA DE PROCESADO PARA LA OBTENCION DE POLVO DE CAUCHO A BASE DE NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU)”.



.....  
**Ingeniero Fran Reinoso AVECILLAS**  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento enorme le queremos dar a Dios por habernos acompañado a lo largo de esta carrera universitaria, y a nuestros familiares quienes fueron un pilar fundamental en cada una de nuestras etapas en la universidad.

De igual manera un agradecimiento a nuestro Director de Tesis, el Ingeniero Fran Reinoso Avecillas, quien nos supo guiar correctamente con el desenvolvimiento de este proyecto, y de manera especial al Economista Fernando Vivar por brindarnos apoyo en el análisis económico.

## **DEDICATORIA**

La dedicatoria de mi trabajo lo hago principalmente a Dios por haberme guiado por el buen camino, y dado una familia humilde llena de muchos valores, los cuales les ido practicando en las aulas de clases con mis compañeros y profesores, gracias a mis padres Noé y Ayda, por haberme dado la oportunidad de prepararme durante toda mi vida, y ser mis ejemplos a seguir para culminar mi carrera, a mis hermanos Tayron y Bernardo por estar a mi lado siempre, a mi esposa María Augusta, por todo su apoyo y perseverancia cada día, a mis hijos Juan Francisco y María Paz, a quienes por muchos momentos los descuido, pero con un buen fin poderme graduar para darles una vida digna, a mis abuelitos, a mis tíos, tías, y demás familiares que siempre estuvieron junto a mí, y como olvidar a mi compañero de aulas y tesis gracias por toda tu paciencia y apoyo en la culminación de nuestros estudios.

*Xavier.*

Este trabajo lo dedico a mis queridos padres Luis y Luz, quienes con todo su apoyo, cariño incondicional y su ejemplo de perseverancia, me dieron la oportunidad de crecer, ser una persona de bien, y forjar un futuro con una carrera universitaria.

A mis hermanos Guido, Lourdes, María, y Héctor, por todo su apoyo en los diferentes aspectos de mi vida, a todos mis familiares, amigos y compañeros universitarios, que de una u otra manera me han apoyado siempre. Por último y muy especial al amor de mi vida Diana, que ha estado siempre conmigo en todos los momentos buenos y malos apoyándome en todo momento.

*Raúl.*

## INDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 1

Figura 1.1	Unidad repetitiva del caucho natural.....	4
Figura 1.2	Diagrama esfuerzo/deformación.....	5
Figura 1.3	Partes que constituyen el neumático.....	8
Figura 1.4	Conformación de la cadena.....	9
Figura 1.5	Arrecifes artificiales con NFU.....	10
Figura 1.6	Reencauchado de neumáticos.....	11
Figura 1.7	Carpeta asfáltica producida con porcentaje de polvo de caucho.....	13
Figura 1.8	Proceso de pirolisis de NFU.....	16
Figura 1.9	Asfaltado vía Ochoa León Cuenca-Ecuador.....	23

### CAPITULO 2

Figura 2.1	Proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU.....	27
Figura 2.2	a) Triturador mecánico, b) Trituración.....	28
Figura 2.3	Trituración mecánica.....	29
Figura 2.4	Cámara de corte de un triturador.....	30
Figura 2.5	Eje de un triturador.....	31
Figura 2.6	a) Cuchilla montada, b) Tipos de cuchillas.....	32
Figura 2.7	Triturador de dos ejes.....	33
Figura 2.8	Triturador de 4 ejes.....	34
Figura 2.9	Triturador de 4 ejes.....	35
Figura 2.10	Molino tipo cracker.....	36
Figura 2.11	Sistema de molienda criogénica.....	37
Figura 2.12	Molino de Martillos.....	38
Figura 2.13	Magneto suspendido.....	39
Figura 2.14	Polea Magnética.....	40
Figura 2.15	Tambor magnético suspendido.....	41

Figura 2.16	Separación convencional de conducto.....	42
Figura 2.17	Separación de zigzag.....	43
Figura 2.18	Separación tipo vibrado de entrada abierta.....	44
Figura 2.19	Criba rotativa.....	45
Figura 2.20	Criba vibrante.....	46

### **CAPITULO 3**

Figura 3.1	Línea de procesado de NFU para la obtención de polvo de caucho.....	66
Figura 3.2	a) Disposición de la materia prima, b) Dimensiones según norma.....	67
Figura 3.3	Trituración primaria.....	68
Figura 3.4	Trituración secundaria.....	68
Figura 3.5	Separación magnética primaria.....	69
Figura 3.6	Molido mecánico.....	70
Figura 3.7	Separación magnética secundaria.....	70
Figura 3.8	Almacenamiento del producto final.....	71
Figura 3.9	a) Cinta Transportadora, b) Vistas de la cinta.....	79
Figura 3.10	Triturador modelo 6340.....	80
Figura 3.11	a) Cinta Transportadora, b) Vistas de la cinta.....	87
Figura 3.12	a) Triturador modelo 120130S-MAX, b) Esquema del triturador.....	89
Figura 3.13	a) Cinta Transportadora, b) Vistas de la cinta.....	96
Figura 3.14	a) Desmetalizador modelo RCYB-8, b) Vistas des magneto Suspendido.....	97
Figura 3.15	Molino mecánico Eco Green-ECO G2-AG.....	98
Figura 3.16	Fuerzas influyentes en la partícula de caucho.....	101
Figura 3.17	a) Cinta Transportadora, b) Vistas de la cinta.....	110
Figura 3.18	a) Desmetalizador modelo RCYB-8, b) Vistas del magneto suspendido.....	111
Figura 3.19	Estación de llenado de big – bags.....	115
Figura 3.20	Locaciones en el software Promodel 7.....	119

Figura 3.21	Locaciones en el software Promodel 7.....	120
Figura 3.22	Diagrama de flujo línea de procesado NFU.....	121
Figura 3.23	Cuadro de locaciones Programa Promodel.....	122
Figura 3.24	Cuadro de entidades Programa Promodel.....	122
Figura 3.25	Proceso línea de NFU Programa Promodel.....	123
Figura 3.26	Proceso línea de NFU Programa Promodel.....	123
Figura 3.27	Capacidad de locaciones.....	124

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO 1

Tabla 1.1	Clasificación del Caucho.....	2
Tabla 1.2	Composición típica porcentual por componente de un neumático fuera de uso.....	6
Tabla 1.3	Componentes químicos presentes en un neumático.....	7
Tabla 1.4	Propiedades del Caucho natural vulcanizado y otros elastómeros.....	8
Tabla 1.5	Granulometría y porcentaje de NFU reciclados por aplicaciones.....	14
Tabla 1.6	Kg de NFU promedio producidos de acuerdo al tipo de vehículo.....	19
Tabla 1.7	Antigüedad del parque automotor hasta el 2010.....	20
Tabla 1.8	Cantidad de vehículos circulantes en Azuay (1990 – 2010).....	20
Tabla 1.9	Generación de NFU anuales procedentes de recambios en la Provincia del Azuay.....	21
Tabla 1.10	Cantidad de materiales presentes en los NFU generado anualmente en la provincia del Azuay.....	21

### CAPITULO 2

Tabla 2.1	Ponderación de criterios de selección para el Triturador primario.....	49
Tabla 2.2	Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 1).....	49
Tabla 2.3	Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 2).....	50
Tabla 2.4	Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 1).....	50
Tabla 2.5	Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 2).....	51
Tabla 2.6	Cuadro general de Registro de evaluación de los trituradores de dos y cuatro ejes .....	51

Tabla 2.7	Resultados del Registro de evaluación para el triturador primario.....	52
Tabla 2.8	Ponderación de criterios de selección para el triturador secundario.....	52
Tabla 2.9	Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 1).....	53
Tabla 2.10	Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 2).....	53
Tabla 2.11	Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 1).....	54
Tabla 2.12	Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 2).....	54
Tabla 2.13	Cuadro general de registro de evaluación para el triturador secundario.	55
Tabla 2.14	Resultado del registro de evaluación para el triturador secundario.....	55
Tabla 2.15	Ponderación de criterios para la selección del sistema de molienda.....	56
Tabla 2.16	Registro de evaluación de criterios para molienda mecánica (evaluación 1).....	56
Tabla 2.17	Registro de evaluación de criterios para molienda mecánica (evaluación 2).....	57
Tabla 2.18	Registro de evaluación de criterios para molienda criogénica (evaluación 1).....	57
Tabla 2.19	Registro de evaluación de criterios para molienda criogénica (evaluación 2).....	57
Tabla 2.20	Cuadro general de registro de evaluación de los sistemas de molienda..	58
Tabla 2.21	Resultados del registro de evaluación para el sistema de molienda.....	58
Tabla 2.22	Ponderación de criterios de selección para el sistema de separación magnética .....	59
Tabla 2.23	Registro de evaluación de criterios para el sistema magneto suspendido (evaluación 1).....	59
Tabla 2.24	Registro de evaluación de criterios para el sistema magneto suspendido (evaluación 2).....	59
Tabla 2.25	Registro de evaluación de criterios para el sistema polea magnética (evaluación 1).....	60

Tabla 2.26	Registro de evaluación de criterios para el sistema polea magnética (evaluación 2).....	60
Tabla 2.27	Registro de evaluación de criterios para el sistema tambor magnético (evaluación 1).....	60
Tabla 2.28	Registro de evaluación de criterios para el sistema tambor magnético (evaluación 2).....	61
Tabla 2.29	Cuadro general de registro de evaluaciones del sistema de separación magnética .....	61
Tabla 2.30	Resultados del registro de evaluación para el sistema de separación magnético .....	62

### **CAPITULO 3**

Tabla 3.1	Capacidades de equipos / sistemas requeridos para obtención de polvo de caucho.....	72
Tabla 3.2	Coefficiente de las resistencias fijas.....	75
Tabla 3.3	Coefficiente de las resistencias pasivas.....	75
Tabla 3.4	Coefficiente de rozamiento interior de las partes giratorias.....	76
Tabla 3.5	Peso de la banda por metro lineal.....	76
Tabla 3.6	Pasos de estaciones de ida y retorno.....	77
Tabla 3.7	Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores.....	78
Tabla 3.8	Características técnicas de la Banda transportadora.....	80
Tabla 3.9	Características técnicas del triturador primario.....	81
Tabla 3.10	Coefficiente de las resistencias pasivas.....	81
Tabla 3.11	Capacidad de transporte volumétricas.....	82
Tabla 3.12	Coefficiente de las resistencias fijas.....	84
Tabla 3.13	Coefficiente de las resistencias pasivas.....	84
Tabla 3.14	Coefficiente de rozamiento interior de las partes giratorias.....	84
Tabla 3.15	Peso de la banda por metro lineal.....	85
Tabla 3.16	Pasos de estaciones de ida y retorno.....	86

Tabla 3.17	Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores.....	86
Tabla 3.18	Características técnicas de la Banda transportadora.....	88
Tabla 3.19	Características técnicas del triturador secundario.....	90
Tabla 3.20	Coeficiente de las resistencias pasivas.....	90
Tabla 3.21	Capacidad de transporte volumétricas.....	91
Tabla 3.22	Coeficiente de las resistencias fijas.....	92
Tabla 3.23	Coeficiente de las resistencias pasivas.....	92
Tabla 3.24	Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias.....	93
Tabla 3.25	Peso de la banda por metro lineal.....	93
Tabla 3.26	Pasos de estaciones de ida y retorno.....	94
Tabla 3.27	Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores.....	94
Tabla 3.28	Características técnicas de la Banda transportadora.....	96
Tabla 3.29	Características técnicas del magnético principal.....	97
Tabla 3.30	Características técnicas del molino mecánico.....	98
Tabla 3.31	Coeficiente de las resistencias pasivas.....	104
Tabla 3.32	Capacidad de transporte volumétricas.....	105
Tabla 3.33	Coeficiente de las resistencias fijas.....	106
Tabla 3.34	Coeficiente de las resistencias pasivas.....	106
Tabla 3.35	Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias.....	106
Tabla 3.36	Peso de la banda por metro lineal.....	107
Tabla 3.37	Pasos de estaciones de ida y retorno.....	108
Tabla 3.38	Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores.....	108
Tabla 3.39	Características técnicas de la Banda transportadora.....	110
Tabla 3.40	Características técnicas del separador magnético secundario.....	111
Tabla 3.41	Características técnicas del Báscula - ensacadora saco abierto.....	116
Tabla 3.42	Capacidades de equipos / sistemas requeridos para obtención de polvo de caucho.....	121
Tabla 3.43	Equipos seleccionados.....	125

## CAPITULO 4

Tabla 4.1	Costos de equipos y sistemas.....	127
Tabla 4.2	Costos de materia prima.....	128
Tabla 4.3	Costo de mano de obra directa.....	128
Tabla 4.4	Costo de mano de obra indirecta.....	129
Tabla 4.5	Costo de energía eléctrica.....	129
Tabla 4.6	Costo de agua potable.....	130
Tabla 4.7	Tiempo de depreciación de los equipos.....	130
Tabla 4.8	Costo de Equipos y valor de rescate.....	131
Tabla 4.9	Costo anual de depreciación de los equipos.....	131
Tabla 4.10	Gastos administrativos.....	132
Tabla 4.11	Gastos por ventas.....	132
Tabla 4.12	Costo de producción.....	133
Tabla 4.13	Punto de Equilibrio.....	133
Tabla 4.14	Recuperación de la inversión.....	135
Tabla 4.15	Flujo de caja.....	135

## **INDICE DE ANEXOS**

### **ANEXO A**

A1 Bandas trasportadoras.....	151
-------------------------------	-----

### **ANEXO B**

B1 Trituradores de dos ejes Eco-Green.....	153
B2 Trituradores de dos ejes Tritotutto.....	154
B3 Trituradores de dos ejes Global Recycling Equipment.....	156

### **ANEXO C**

C1 Trituradores de cuatro ejes Tritotutto.....	158
C2 Trituradores de cuatro ejes Guangzhon 3E.....	161
C3 Trituradores de cuatro ejes Mingxin.....	162

### **ANEXO D**

D1 Separador magnético Sanme.....	163
D2 Separador magnético RCYD.....	164
D3 Separador magnético Huaxín.....	166

### **ANEXO E**

E1 Molino mecánico Eco-Green.....	167
-----------------------------------	-----

### **ANEXO F**

F1 Ensacadora Payper.....	168
---------------------------	-----

### **ANEXO G**

G1 Layout de la línea de procesado.....	170
---	-----

### **ANEXO H**

Resultados de simulación mediante software Promodel 7.....	171
H1 Utilización de locaciones.....	171
H2 Almacenamiento de big – bags.....	171

## INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis se enfoca al análisis y aprovechamiento de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) generados por recambios en la provincia del Azuay, como polvo de caucho, y en especial su uso como componente en las mezclas bituminosas en la carpeta asfáltica de la provincia, brindando beneficios tanto en sus vías y carreteras, además de favorecer en la preservación del medio ambiente con la erradicación de estos desechos, sin dejar de mencionar que estos neumáticos también pueden tener diversas aplicaciones cuando han culminado con su vida útil ya que existen mecanismos adecuados para su aprovechamiento. Este proyecto se realizó enfocado a la producción de asfalto que genera la empresa “ASFALTAR EP” la cual está ubicada en Uzhupud-Paute, y es la empresa que se encarga del asfaltado de las vías y carreteras en la provincia del Azuay con una producción de 35m<sup>3</sup> de asfalto por hora.

Para los fines de nuestro proyecto de tesis se estudiara todos los procesos de obtención de polvo de caucho a base de NFU, considerando el factor económico y las tecnologías existentes para la reducción del tamaño de los neumáticos fuera de uso, y así considerar las características, ventajas, desventajas y los patrones de selección de los mismos, para al final tener claro cuáles son los equipos más idóneos que formaran parte de nuestro diseño de la línea de procesado.

Una vez que ya tenemos definidos las tecnologías y la maquinaria adecuada, podemos indicar que nuestro proceso utilizara trituradores de rotación inversa y molinos mecánicos, en los cuales el neumático se despedaza conforme pasa de una maquina a otra en elementos cada vez más pequeños, la cantidad de maquinaria depende del tamaño de polvo de caucho a obtener.

El sistema de separación magnético está dividido en dos secciones, el principal tiene la misión de desprender el 98% del material ferroso obtenido en la trituración mecánica, en cambio el secundario separa el remanente de acero presente aun en el polvo, dejando de

esta manera un polvo libre de impurezas y listo para ser ensacado y almacenado como producto final.

El diseño de toda la línea de procesado de NFU fue modelado mediante PROMODEL, un software especializado en el análisis de la producción de sistemas de cualquier tipo, con el cual se consiguió visualizar y monitorear el proceso de flujo en la obtención de polvo de caucho a base de NFU.

Por último se realizó el análisis económico del proyecto obteniendo los indicadores VAN, y TIR, dándonos una proyección de la rentabilidad, e indicándonos que el tiempo de retorno de la inversión es a corto plazo afirmando que el proyecto es muy rentable.

## INDICE GENERAL

AUTORIA.....	I
CERTIFICACION.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INTRODUCCION.....	XIII

## CAPITULO 1

<b>CARACTERISTICAS Y APLICACIONES DE LOS NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU).....</b>	<b>1</b>
Introducción.....	1
1.1 Clasificación del caucho.....	1
1.1.1 Caucho natural.....	2
1.1.2 Caucho sintético.....	3
1.2 Tipos de caucho empleados en la fabricación de neumáticos.....	3
1.3 Composición y características de los neumáticos.....	4
1.4 Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso (NFU).....	9
1.4.1 Neumáticos fuera de uso enteros.....	10
1.4.2 Neumáticos fuera de uso en gránulos o polvos.....	11
1.4.3 Neumáticos fuera de uso como combustible.....	14
1.4.4 Aprovechamiento energético por gasificación.....	15
1.4.5 Aprovechamiento energético mediante pirolisis.....	16
1.5 Análisis situacional de los neumáticos fuera de uso (NFU).....	17
1.5.1 Estimación de la producción de NFU generados en la provincia del Azuay procedente de recambios.....	18
1.5.2 Análisis de la generación de NFU en la provincia del Azuay procedentes de recambios.....	1
1.6 Estimación de la demanda del entorno próximo.....	8
1.6 Estimación de la demanda del entorno próximo.....	22

1.6.2 Análisis e la vialidad Azuaya y demanda estimada de polvo de caucho para la carpeta asfáltica de la provincia.....	22
1.6.3 Análisis de materia prima sobre la demanda potencial.....	24
Conclusiones del capítulo.....	25

## **CAPITULO 2**

### **ESTADO DE ARTE EN TECNOLOGIAS DE OBTENCION DE POLVO DE CAUCHO A BASE DE NFU.....**

Introducción.....	26
2.1 Proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU.....	26
2.2Tecnologías de reducción de tamaño.....	28
2.2.1 Trituración mecánica.....	28
2.2.1.1 Proceso de triturado.....	29
2.2.1.2 Características de los trituradores.....	29
2.2.1.3 Clasificación de los trituradores.....	32
2.2.1.3.1 Triturador de dos ejes.....	32
2.2.1.3.2 Triturador de cuatro ejes.....	33
2.2.2 Molienda mecánica.....	34
2.2.2.1 Molienda mecánica a temperatura ambiente.....	35
2.2.2.2 Molienda mecánica criogénica.....	36
2.3 Tecnologías de separación de componentes.....	38
2.3.1 Separación Magnética.....	39
2.3.1.1 Magneto suspendido.....	39
2.3.1.2 Polea magnética.....	40
2.3.1.3 Tambor magnético suspendido.....	40
2.3.2 Aspiración de polvos.....	41
2.3.2.1 Separación convencional en conducto.....	41
2.3.2.2 Separación de zigzag.....	42
2.3.2.3 Separación tipo vibrado de entrada abierta.....	43
2.3.3 Tamizado.....	45
2.3.3.1 Tambor de malla giratoria.....	45

2.3.3.2 Cribas vibrantes.....	46
2.4 Selección de sistemas y equipos para la línea de procesado de NFU.....	47
2.4.1 Método de ponderación.....	47
2.4.1.1 Definición de criterios objetivos.....	47
2.4.1.2 Ponderación de criterios.....	48
2.4.1.3 Puntuación de la selección.....	48
2.4.1.4 Resultados.....	48
2.4.2 Selección del triturador primario.....	48
2.4.2.1 Criterios de selección del triturador primario.....	48
2.4.2.2 Ponderación de criterios de selección del triturador primario.....	49
2.4.2.3 Puntuación de los criterios de selección del triturador primario.....	49
2.4.2.4 Resultados de ponderación de selección del triturador primario.....	52
2.4.3 Selección del triturador secundario.....	52
2.4.3.1 Criterios de selección del triturador secundario.....	52
2.4.3.2 Ponderación de criterios de selección del triturador secundario.....	52
2.4.3.3 Puntuación de criterios de selección del triturador secundario.....	53
2.4.3.4 Resultados de ponderación de selección del triturador primario.....	55
2.4.4 Selección del sistema de molienda.....	56
2.4.4.1 Criterios de selección del sistema de molienda.....	56
2.4.4.2 Ponderación de criterios de selección del sistema de molienda.....	56
2.4.4.3 Puntuación de criterios de selección del sistema de molienda.....	56
2.4.4.4 Resultado de ponderación de selección del sistema de molienda.....	58
2.4.5 Selección del sistema de separación magnética.....	58
2.4.5.1 Criterios de selección del sistema de separación magnética.....	58
2.4.5.2 Ponderación de criterios de selección del sistema de separación magnética.....	59
2.4.5.3 Puntuación de los criterios de selección del sistema de separación magnética.....	59
2.4.5.4 Resultado de ponderación de selección del sistema de separación magnética.....	62
Conclusiones del capítulo.....	62

### **CAPITULO 3**

<b>DISEÑO DE LA LINEA DE PROCESADO PARA LA OBTENCION DE POLVO DE CAUCHO A BASE DE NFU.....</b>	<b>64</b>
Introducción.....	64
3.1 Parámetros de diseño.....	64
3.2 Descripción de la línea de procesado.....	65
3.2.1 Recepción y almacenamiento de NFU.....	66
3.2.2 Trituración mecánica primaria.....	67
3.2.3 Trituración mecánica secundaria.....	68
3.2.4 Primera separación magnética.....	68
3.2.5 Molino mecánico.....	69
3.2.6 Segunda separación magnética.....	69
3.2.7 Almacenado del producto.....	70
3.3 Capacidades de equipos requeridos.....	70
3.4 Selección de equipos.....	72
3.4.1 Cinta transportadora de carga al triturador primario.....	72
3.4.1.1 Velocidad de la cinta.....	72
3.4.1.2 Peso del material transportado.....	72
3.4.1.3 Esfuerzo tangencial total.....	73
3.4.1.4 Potencia motriz.....	77
3.4.1.5 Selección comercial de la cinta transportadora.....	78
3.4.2 Selección del triturador primario.....	79
3.4.3 Cinta de extracción y elevación al triturador secundario.....	80
3.4.3.1 Selección comercial de la cinta transportadora.....	86
3.4.4 Selección del triturador secundario.....	87
3.4.5 Cinta de extracción y elevación al molino mecánico.....	89
3.4.5.1 Selección comercial de la cinta transportadora.....	94
3.4.6 Separador magnético principal.....	96
3.4.7 Selección del molino mecánico.....	97
3.4.7.1 Calculo de la aspiración de elementos textiles.....	98

3.4.8 Cinta de extracción y elevación al silo de carga.....	102
3.4.8.1 Selección comercial de la cinta transportadora.....	109
3.4.9 Separador magnético secundario.....	110
3.4.10 Almacenamiento del polvo de caucho.....	111
3.4.10.1 Calculo del silo.....	111
3.4.10.2 Calculo de la cantidad a ensilar.....	113
3.4.10.3 Calculo del área de descarga del silo.....	113
3.4.10.4 Selección comercial de la estación de llenado de big-bags.....	114
3.5 Cuadro eléctrico general para la línea de procesado.....	116
3.6 Potencia total instalada.....	117
3.7 Layout de la línea de procesado.....	117
3.8 Simulación mediante software especializado.....	117
3.8.1 Características del programa.....	118
3.8.2 Simulación de la línea de procesado.....	120
3.8.3 Datos de entrada.....	120
3.8.4 Programación.....	122
3.8.5 Resultados de la simulación.....	123
Conclusiones del capítulo.....	123

## **CAPITULO 4**

<b>ESTUDIO TECNICO-FINANCIERO.....</b>	<b>125</b>
Introducción.....	125
4.1 Costos de inversión.....	125
4.2 Costo de producción.....	126
4.2.1 costos directos de fabricación.....	126
4.2.1.1 Costo de la materia prima.....	126
4.2.1.2 Costo de mano de obra directa.....	127
4.2.2 Costos indirectos de fabricación.....	128
4.2.2.1 Costo de mano de obra indirecta.....	128
4.2.2.2 Costo de Energía eléctrica.....	128
4.2.2.3 Costo de Agua potable.....	129

4.2.2.4 Costo de depreciación de equipos.....	129
4.2.2.5 Gastos Administrativos.....	131
4.2.2.6 Gastos por ventas.....	131
4.2.2.7 Otros costos.....	131
4.2.3 Determinación del costo de producción.....	132
4.3 Punto de Equilibrio.....	132
4.4 Recuperación de la inversión.....	133
4.4.1 Flujo de Caja.....	134
4.4.2 Valor actual neto (VAN).....	135
4.4.3 Tasa interna de retorno (TIR).....	136
Conclusiones del capítulo.....	137
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>138</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>140</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>150</b>

## **CAPITULO 1**

### **CARACTERISTICAS Y APLICACIONES DE LOS NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU)**

#### **Introducción**

En el presente capítulo se describe la clasificación de los tipos de caucho que existen, sus propiedades y funciones en la fabricación de neumáticos. Se analiza la composición y las características de los neumáticos en general, además de las diversas aplicaciones que se pueden dar a estos elementos cuando han culminado con su vida útil teniendo en cuenta los diferentes métodos existentes para su aprovechamiento.

Se analiza la situación actual de NFU generados por recambios en la provincia del Azuay considerando la vida útil de los vehículos, y la potencial demanda del producto obtenido (polvo de caucho) estimando su utilización como componente de la carpeta asfáltica en las vías y carreteras de la misma provincia.

Por último se analiza en cifras y porcentajes la cantidad de polvo de caucho necesario a obtener, con el cual se puede realizar el correcto diseño de la línea de procesado.

#### **1.1 Clasificación del caucho**

Los elastómeros o cauchos son sustancias naturales o sintéticas que se caracterizan por su elasticidad, sus dimensiones pueden variar mucho si son sometidos a tensiones mecánicas y pueden regresar a sus dimensiones originales (o casi) cuando las tensiones cesan<sup>1</sup>, tienen excelente repelencia al agua y resistencia eléctrica.

El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, presente en el árbol *Hevea Brasiliensis*, cultivados en plantaciones en las regiones tropicales del sureste asiático. En cambio el caucho sintético se prepara a partir de

---

<sup>1</sup> SERRANO, ENCARNACION, y otros “Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso”, INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA, VT10, p 8.

hidrocarburos insaturados consiguiendo cualidades y características exclusivas, que en muchos casos lo hacen superior e insustituible con respecto al caucho natural.

**Tabla 1.1** Clasificación del caucho

<b>ELASTOMEROS</b>	<b>CAUCHO NATURAL</b>	
	<b>CAUCHOS SINTETICOS</b>	Caucho butadieno-estirénico
		Caucho butadiénico
		Caucho butílico (isobutenisopropeno)
		Caucho cloroprénico
		Cauchos etilenpropilénicos, cauchos EPM, ASTM clase "M"
		Caucho nitrílico

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos35/caucho-sbr/caucho-sbr.shtml>

### 1.1.1 Caucho natural.

El caucho natural es el poli-isopropeno, tiene excelentes propiedades de resiliencia y baja histéresis. Los cauchos de baja histéresis se usan donde es importante la baja absorción de energía, por ejemplo, en las paredes neumáticas del automóvil donde la baja absorción de energía evita el calentamiento cuando se flexionan las paredes. Por otro lado se usan cauchos de alta histéresis para la parte de los neumáticos en contacto con el suelo donde propiedades de baja resiliencia y de absorción de energía reducen el rebote y ayudan a que se adhiera la llanta a la carretera.

“El caucho natural extraído es un látex con partículas de caucho en suspensión, que después de un proceso de secado y de ahumado se utiliza en diferentes productos, hoy en día el caucho natural alcanza el 30 % del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos [...]”<sup>2</sup>

<sup>2</sup> CASTRO, Guillermo, *Materiales y compuestos para la industria del neumático*, Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A., 2008, p 2.

### **1.1.2 Caucho sintético.**

El caucho sintético es una sustancia elaborada artificialmente por el hombre cuyas características son similares al caucho natural, se obtienen por reacciones químicas conocidas como condensación o polimerización a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y forman moléculas gigantes denominadas polímeros.

### **1.2 Tipos de caucho empleados en la fabricación de neumáticos.**

Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son:

Cauchos naturales (NR)

Polibutadienos (BR)

Estireno – Butadieno (SBR)

Polisoprenos sintéticos (IR)

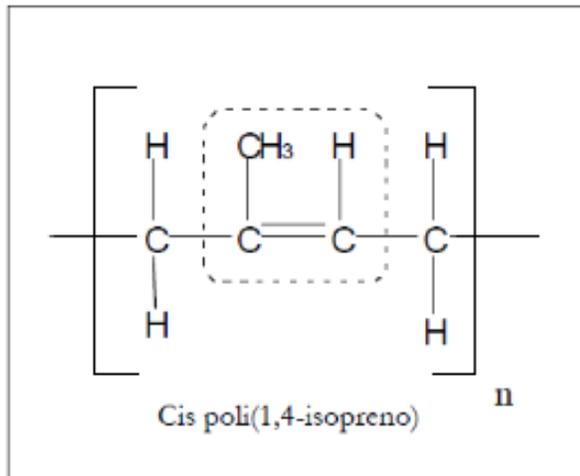
“La matriz de caucho más utilizada es el co-polímero estireno-butadieno (SBR), en el que la proporción es de aproximadamente un 25 % en peso de estireno, o una mezcla de caucho natural y SBR. Todos los tipos de cauchos poseen diferentes propiedades, pero también con algo en común: todos una vez vulcanizados pueden ser muy duraderos, por lo que necesitarían una gran cantidad de tiempo para su degradación.

La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad, y los sintéticos proporcionen estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito. La estructura de los cauchos naturales está formada por [...] poli-isopreno mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas, entre otros. Se encuentra así un polímero de cadena larga y enredada en forma de espiral, de peso molecular

medio,  $5 \times 10^5$  g/mol, que a temperatura ambiente está en un estado de agitación continua.

Este comportamiento general es debido en parte al impedimento estérico del grupo metilo y el átomo de hidrógeno, en el mismo lado del doble enlace carbono-carbono, esta cadena se complementa con otro isómero estructural llamado gutapercha.”<sup>3</sup>

**Figura 1.1** Unidad repetitiva del caucho natural.



Fuente: [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_5.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_5.html)

### 1.3 Composición y características de los neumáticos

En la actualidad, la mayoría de los neumáticos de vehículos de pasajeros como los de camión son radiales, por lo que están compuestos de una banda de rodamiento elástica, una cintura prácticamente inextensible y una estructura de arcos radialmente orientada, sobre una membrana inflada y sobre unos aros también inextensibles que sirven de enganche a otro elemento rígido, que es la llanta. También existe otro tipo de neumáticos llamados diagonales, utilizados principalmente en camiones.

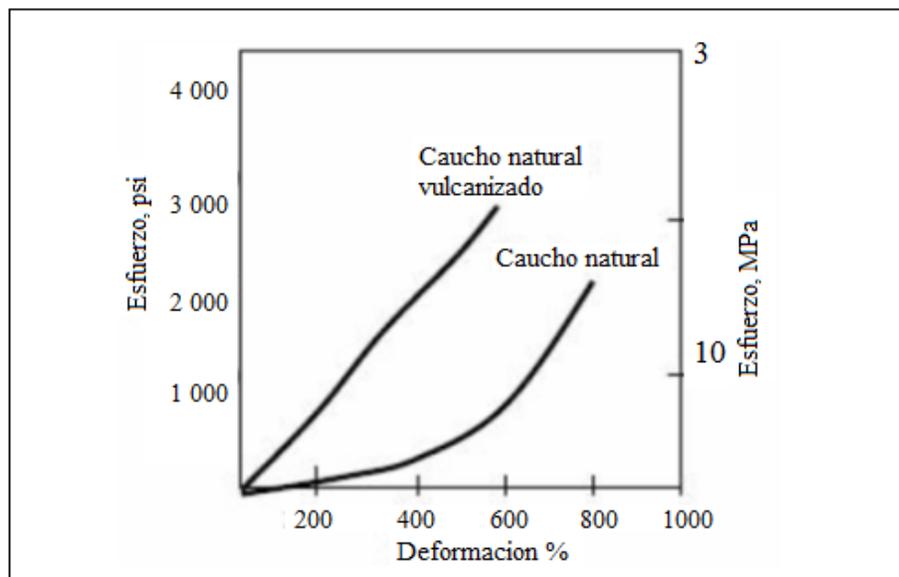
La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen, el principal componente del neumático es el caucho, que es casi la mitad de su peso.

<sup>3</sup> CASTRO, Guillermo. Op. Cit. p. 2.

La fabricación de neumáticos concentra un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo.

El proceso de vulcanización a que se someten los neumáticos es un entrelazamiento de cadenas de polímeros con moléculas de azufre a alta presión y temperatura. En el proceso de vulcanización el caucho pasa de ser un material termoplástico a ser uno elastomérico. Las posibilidades de deformación son muy diferentes, como se puede apreciar en la siguiente figura:

**Figura 1.2** Diagrama esfuerzo/deformación



**Fuente:** <http://materialesitej.blogspot.com/>

La adición de cargas hace abaratar el valor del neumático, dándole cuerpo y rigidez, además del caucho los neumáticos están compuestos por:

- Rellenos reforzantes: el negro de humo, formado de partículas muy pequeñas de carbono aumenta la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste.
- Fibras reforzantes: textiles y de acero, usualmente en forma de hilos aportan resistencia a los neumáticos, también se encuentra presente el algodón, nylon y

el poliéster. La cantidad de acero y fibras sintéticas reforzantes en los neumáticos varía según el fabricante.

- Plastificantes: se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, se utiliza para el control de la viscosidad, y reduce la fricción interna durante el procesado, mejorando la flexibilidad a bajas temperaturas.
- Agentes vulcanizantes: el azufre se usa para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho.
- Acelerantes: son compuestos orgánicos entre los cuales se encuentran los sulfurados, el benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico.
- Otros componentes (antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos).

En forma general el neumático está compuesto por los siguientes componentes:

**Tabla 1.2** Composición típica porcentual por componente de un neumático fuera de uso

COMPONENTES	TIPO DE VEHICULO		FUNCION
	AUTOMOVILES	CAMIONES	
	% EN PESO	% EN PESO	
Cauchos y elastómeros	48	45	Estructural - deformación
Negro de humo	22	22	Mejora de propiedades físicas
Refuerzos metálicos (Acero)	15	25	Esqueleto estructural
Refuerzos textiles	5	0	Esqueleto estructural
Oxido de zinc	1.2	2.1	Catalizador
Azufre	1	1	Agente vulcanizantes
Aditivos y otros	10	9	Juventud
Peso del neumático (kg)	6.5 - 9	55 - 80	

**Fuente:** [http://digital.csic.es/bitstream/10261/17979/1/NFU's\\_revision.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/17979/1/NFU's_revision.pdf)

En cuanto a su composición química, puede variar según el uso al que están destinados.

**Tabla 1.3** Componentes químicos presentes en un neumático

<b>ELEMENTOS</b>	<b>%</b>
CARBONO	70-83
HIDROGENO	5-7.5
AZUFRE	1.2-1.9
COLOR	0.1-0.8
NITROGENO	1.5
OXIGENO	5
ZINC	1.2-2.7
HIERRO	5 – 18
OTROS	5

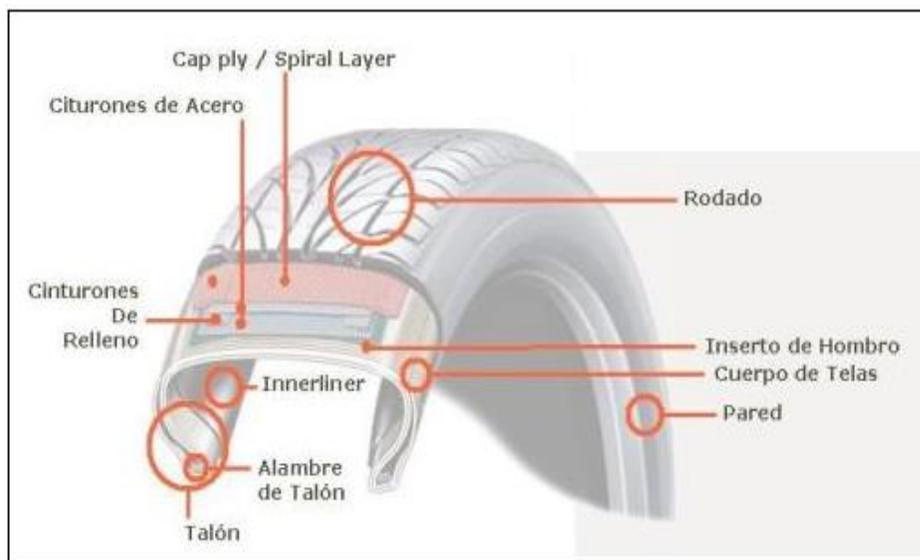
**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/71020671/Materiales-y-Compuestos-Para-La-Industria-Del-Neumatico>

Entre los aspectos importantes sobre la composición de los neumáticos tenemos los siguientes:

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

En la Figura 1.3 se puede observar la constitución esquemática de un neumático, evidenciándose la heterogeneidad de la materia prima.

**Figura 1.3** Partes que constituyen el neumático



**Fuente:** <http://gomeriasantafe.com/datosutiles/datosutiles.html>

En la siguiente tabla podemos observar la relación de algunas de las principales propiedades entre el caucho natural vulcanizado y otros elastómeros sintéticos. Se observa el bajo valor tensional y la alta elongación que poseen:

**Tabla 1.4** Propiedades del Caucho natural vulcanizado y otros elastómeros

ELASTOMEROS	RESISTENCIA A LA TRACCION (PSI.)	ELONGACION (%)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
Caucho natural vulcanizado	2,5 - 3,5	750 – 850	0,93
SRB	0,2 -3,5	400 – 600	0,94
Neopreno	3 – 4	800 – 900	1,25
Silicona	0,6 - 1,3	100 – 500	1,1 - 1,6

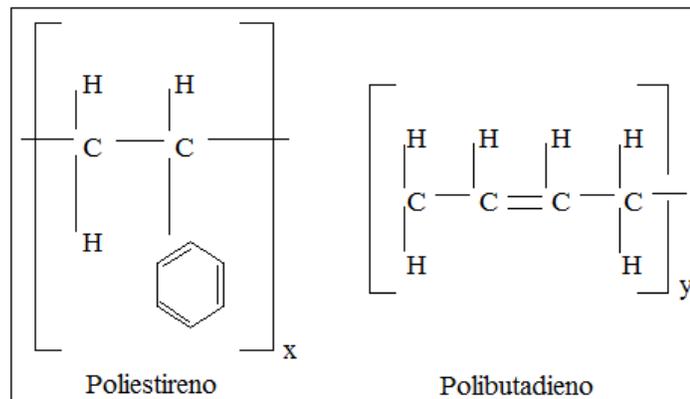
**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/71020671/Materiales-y-Compuestos-Para-La-Industria-Del-Neumatico>

“Como se ha mencionado, entre los cauchos sintéticos más utilizados se encuentran los de tipo estireno butadieno, siendo el más ampliamente utilizado el SBR. Después de la polimerización este material contiene entre el 20 al 23 % de estireno.

En la Figura 1.4 se observa la conformación de la cadena. La presencia del butadieno permite el entrecruzamiento con el azufre, siendo capaz de producir el isómero “cis” que tiene una mayor elasticidad que la del caucho natural.

El estireno permite tener un caucho más duro y más tenaz, haciendo que no cristalice bajo grandes esfuerzos. El SBR es más económico que el caucho natural, por lo que ha sido más difundido y utilizado desde hace tiempo en los neumáticos, pero previamente tienen que ser tratados, pues elevan fácilmente su temperatura y absorben con facilidad aceites y naftas derramadas. Su performance es amplia y se encuentra ubicada entre los -50 a 82 °C.<sup>4</sup>

**Figura 1.4** Conformación de la cadena



**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/71020671/Materiales-y-Compuestos-Para-La-Industria-Del-Neumatico>

#### 1.4 Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso (NFU).

La gestión que más énfasis debe generar, y en la que las empresas públicas y privadas deben agrandar sus esfuerzos es el reciclado de materiales. Las posibilidades de reciclaje de los NFU por ser un desecho sólido han experimentado en los últimos tiempos un importante crecimiento, se pueden emplear de distintas maneras, ya sea enteros, como combustible, o valorizados (polvo de caucho), pero al ser elementos generados en grandes volúmenes la gran mayoría de estos elementos no tiene un adecuado manejo.

<sup>4</sup> CASTRO, Guillermo. Op. Cit. p. 6.

### 1.4.1 Neumáticos fuera de uso enteros.

Los neumáticos enteros pueden utilizarse como estructuras de contención en parques o en zonas muy inclinadas o expuestas a lo largo de carreteras. Son menos caros que el material convencional utilizado para estas aplicaciones, hay gran abundancia y disponibilidad. También pueden utilizarse como capas drenantes en los rellenos sanitarios.

**Figura 1.5** Arrecifes artificiales con NFU



**Fuente:** <http://www.elambienteenmedio.es/2008/03/una-nueva-tecnologia-permite-reciclar.html>

Pueden construirse arrecifes artificiales uniendo neumáticos usados, hundiéndolos y anclándolos en aguas costeras, en ciertas condiciones se crían diversidad de flora y fauna en torno a estos arrecifes artificiales. También es posible elaborar rompeolas colocándolos próximos a la costa de manera de contrarrestar el efecto de las mareas dando estabilidad en la zona de playas, pueden servir como barreras parachoques, montados sobre pilas en bordes de carreteras, puentes, etc. De igual manera como losetas en parques infantiles.

Otro uso que se le puede dar a los neumáticos fuera de uso es el reencauchado. Este proceso consiste en ampliar la vida útil de los neumáticos realizando un labrado nuevo

sobre la cubierta gastada del neumático. Primero se inspecciona el estado de las cubiertas y del neumático en si, reparándolo en caso de ser necesario, se pule el labrado viejo para luego aplicar el nuevo labrado.

Es común el reencauche en neumáticos utilizados por camiones, pero en autos livianos no presenta demasiadas ventajas ya que en precio no hay gran diferencia con los neumáticos nuevos.

**Figura 1.6** Reencauchado de neumáticos



**Fuente:** <http://www.elcomercio.com/deportes/carburando/Carburando-llantas-neumaticos>

#### **1.4.2 Neumáticos fuera de uso en gránulos o polvos**

El polvo de caucho que se obtienen tras el tratamiento de los NFU, una vez separado los restos aprovechables de hierro y textil pueden ser usados en infinidad de productos. El campo de mayor aplicación son los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de vías y carreteras.

En este campo el polvo de caucho se emplea para la fabricación de betunes-caucho, directamente como áridos en las mezclas bituminosas como una modalidad más de betún modificado.

“La fabricación de betún-caucho se suele denominar “vía húmeda” [...] debido a que en este proceso se mezcla el polvo de caucho (tamaño de partículas entre 0 – 0.85mm) con el betún, a una temperatura entre 150°C y 200°C, durante un tiempo de una a dos horas, de forma que se realice la unión física y química de ambos componentes. [...]

La proporción de caucho en la mezcla suele variar entre el 5% y el 26% del peso del betún, para producción de betunes de alta viscosidad, dependiendo de la aplicación que se vaya a dar al ligante. El betún-caucho tiene una mayor viscosidad y una gran recuperación elástica y adhesiva. Las principales aplicaciones de este ligante son en:

- Membranas anti-fisuras, bien superficiales, o entre capas.
- Membranas impermeabilizantes (en tableros de puentes).
- Masillas de sellado.
- Materiales para juntas de dilatación.
- Ligantes para mezclas en capas de rodadura, fundamentalmente en capas drenantes y capas delgadas.

La incorporación directa del polvo de caucho, como parte del árido a la planta de mezclado se conoce como “vía seca”. [...] El árido natural se dosifica con granulometría discontinua para acomodar las partículas de caucho, que suelen tener tamaños comprendidos entre 0.4 y 0.85mm. Generalmente se utilizan entre un 1% y un 3% de granulado de caucho sobre el peso de la mezcla. Se obtienen mezclas muy flexibles, adecuadas únicamente para capas de rodadura [...]. Como ventajas técnicas se pueden resaltar:”<sup>5</sup>

- Menor susceptibilidad a la temperatura que las mezclas convencionales, (aumenta su elasticidad y resistencia a temperaturas elevadas)
- Mayor resistencia al agrietamiento, tanto por fatiga como por reflexión
- Mayor resistencia al envejecimiento y a la oxidación que las mezclas convencionales

---

<sup>5</sup> Ficha técnica, NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU), 2010, p 10-11

- Aumenta la viscosidad del ligante, lo que proporciona películas mas gruesas de betún
- Mejora la adherencia del vehículo al asfalto
- Reduce el nivel sonoro por rodadura
- Prolonga la vida útil de la vía
- Prolonga el tiempo de contraste de las marcas viales
- Disminuye del coste de mantenimiento

**Figura 1.7** Carpeta asfáltica producida con porcentaje de polvo de caucho



**Fuente:** [http://dc339.4shared.com/doc/c\\_31VuVe/preview.html](http://dc339.4shared.com/doc/c_31VuVe/preview.html)

También se emplean como componentes de alfombras, aislantes de vehículos o losetas de goma, materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislantes de vibración, etc. Otros usos son los deportivos, en campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades son infinitas y crecen cada día, como en cables de freno, compuestos de goma, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, aislantes acústicos, etc. En la siguiente tabla se muestra algunas de las distintas aplicaciones del polvo de caucho dependiendo del tamaño de su granulometría.

**Tabla 1.5** Granulometría y porcentaje de NFU reciclados por aplicaciones

APLICACIONES	GRANULOMETRIA DEL CAUCHO UTILIZADO
Bases elásticas en pavimentos deportivos	1.5 - 5.0mm
Campos de hierba artificial	0.5 - 2.0mm
Pavimentos multiusos	1.5 - 4.0mm
Suelos de seguridad	1.5 - 4.0mm
Aislamiento acústico y contra ruido de impacto	0.5 - 1.5mm
Pistas de atletismo	1.5 - 4.0mm
Industrias del caucho y asfaltos modificados	0.0 - 0.85mm

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/71020671/Materiales-y-Compuestos-Para-La-Industria-Del-Neumatico>

### **1.4.3 Neumáticos fuera de uso como combustible.**

La valorización energética es una de las posibilidades que actualmente se manejan para eliminar o reducir la cantidad de neumáticos usados y al mismo tiempo limitar el consumo de combustibles fósiles. Los neumáticos usados triturados, se emplearían como combustible alternativo, por ejemplo en los hornos de cementeras, mejorando la competitividad de estas ya que los neumáticos usados son menos costosos que el combustible. Los NFU constituyen una fuente potencial de energía. Su relativamente elevado poder calorífico, de aproximadamente 37 MJ/kg (sin refuerzos metálicos), es comparable e incluso superior al del carbón de buena calidad.

El neumático es, por tanto, un combustible interesante y este tipo de aprovechamiento industrial está siendo utilizado para grandes volúmenes. Actualmente en EE.UU. y en Japón, el 50% de los neumáticos se valorizan recuperando energía. Aunque esta valorización consiste en utilizar los NFU como combustibles complementarios, principalmente en hornos de cementeras, papeleras y centrales térmicas convencionales, estos tres usos suponen más del 75% de la valorización energética de NFU en EE.UU.

El principal inconveniente de la combustión de neumáticos usados es la gran cantidad de productos contaminantes que se producen, que son vertidos a la atmósfera o al medio

ambiente, como por ejemplo monóxido de carbono, óxidos de zinc, óxidos de plomo, benceno, tolueno, etc. Este problema, en el caso de los hornos de las cementeras, es paliado en parte, ya que una fracción de estas sustancias contaminantes queda retenida en el Clinker.

#### **1.4.4 Aprovechamiento energético por gasificación.**

La gasificación es un proceso termoquímico de descomposición de la materia orgánica en un ambiente caracterizado por un déficit de aire respecto al estequiométrico necesario para realizar la combustión completa de la misma como método de aprovechamiento de los residuos carbonosos. Es un proceso a 600°C donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua), buscando de esta manera un alto rendimiento en gases, como CO, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

En el tratamiento de NFU vía gasificación se obtienen 2 fases; una sólida (mezcla de negro de carbono (25% en peso del total de NFU) y acero (12% en peso del total de NFU)) en aproximadamente un 37 % en peso del total de los productos del proceso, y una fase gaseosa en un 63%. Los dos componentes de la fase sólida se separan fácilmente con un tromel rotatorio de tamizado. El gas generado sale de los gasógenos a una temperatura superior a 350°C y contiene 2 fases separables:

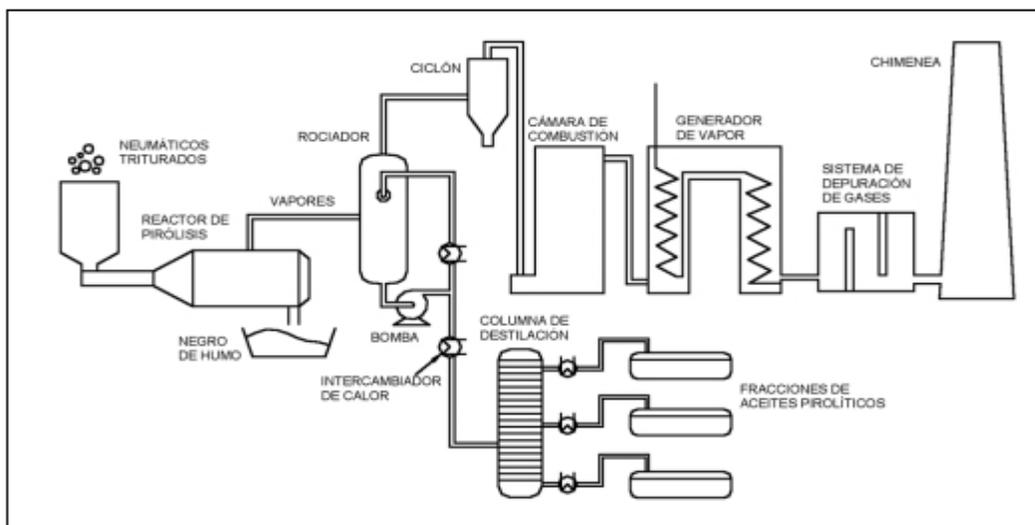
- Fase gaseosa no condensable; formada por una amplia gama de gases de gasificación (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, hidrocarburos tipo C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>,...). Representa, de media, un 38% en peso del total de NFU tratados en el proceso, empleados como valorización energética en motores de gas adaptados al respecto.
- Fase gaseosa condensable; constituida por todo el espectro de alquitranes, aceites medianos y ligeros, etc. Constituye un 25% del peso total de los NFU tratados. Los aceites condensados se pueden valorizar energéticamente como sustitutivo de un combustible ligero o emplear en aplicaciones industriales específicas.

### 1.4.5 Aprovechamiento energético mediante pirólisis.

La pirólisis se ha considerado como una de las soluciones más factibles para valorizar los NFU y puede proporcionar un provecho económico a gran escala. El interés se centra en el hecho de que los productos obtenidos por este proceso son de fácil manipulación, almacenamiento y transporte. La fracción gaseosa generada puede ser utilizada como combustible para el proceso auto térmico. Los materiales carbonosos pueden ser utilizados como combustible de alta calidad o como precursores de negro de carbono o carbono activo.

El producto líquido es una mezcla compleja de compuestos orgánicos de 5-20 átomos de carbono con alto contenido en aromáticos. Tras la destilación, la fracción líquida puede emplearse como aceites o ser mezclada para obtener combustibles para automoción. También se obtienen otros productos químicos como benceno, tolueno, y limonenos. Por último la fracción sólida puede utilizarse como combustible sólido o como negro de carbono de bajo grado. Se ha demostrado que mediante tratamiento térmico de neumáticos usados es posible conseguir un negro de carbono pirolíticos de una calidad similar a uno comercial de la serie 700 e inferiores, esto amplía la gama de aplicaciones.

**Figura 1.8** Proceso de pirolisis de NFU



**Fuente:** Reciclado y reutilización de neumáticos usados, MATAMOROS Bedia,

Las características del negro de carbono reciclado son diferentes a las del negro de carbono convencional, pero con la optimización se llegan a aproximar. El uso del negro pirolítico para coloración y para absorbente de luz UV podría ofrecerse fácilmente tanto para productos plásticos como para productos de caucho.

### **1.5 Análisis situacional de los neumáticos fuera de uso (NFU)**

Los neumáticos fuera de uso son uno de los residuos que tienen un alto impacto en el medioambiente, son de gran tamaño y no se descomponen, son ideales como nido de roedores e insectos, son potenciales focos de incendios con la consecuente contaminación no sólo del suelo sino también del aire y además las sustancias de las que están fabricados, penetran el suelo y contaminan las capas subterráneas de agua.

Por tratarse de material que no es biodegradable, la situación constituye una seria amenaza para el medio ambiente. Los neumáticos se están convirtiendo en un gran problema ambiental en nuestro país, debido a lo difíciles o caros de reciclar, peligrosos de acumular y potencialmente muy contaminantes. Los neumáticos sobrevivirán por millones de años, no pueden reutilizarse para hacer nuevos neumáticos, en los vertederos obstruyen el procesamiento de la basura y es peligroso acumularlos por el riesgo de incendio.

Como no se posee un dato acertado de la cantidad de neumáticos que se desecha anualmente en la provincia del Azuay, y además considerando que los neumáticos pasan a ser NFU cuando ya han terminado su vida útil, para estimar la cantidad de NFU que se genera en nuestra provincia se analizarán los neumáticos usados procedentes de los recambios que los vehículos realizan dentro de su vida útil.

Otra fuente generadora de NFU son los provenientes de las aeronaves, las motocicletas, bicicletas, etc. pero debido a su escasa cantidad dentro del volumen total de NFU generados en la provincia, no se tomarán en consideración. Así pues, para la estimación de los NFU generados en la provincia del Azuay será analizado el parque automotor

Azuayo tomando como fuente datos estadísticos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).

### **1.5.1 Estimación de la producción de NFU generados en la provincia del Azuay procedentes de recambios**

Para la estimación del tiempo promedio anual de recambios de neumáticos se consideró:

- Vehículos pesados: destinados principalmente para transporte de carga y pasajeros, entre los cuales tenemos: Buses (urbanos, intercantonales e interprovinciales), y Camiones.
- Vehículos livianos: destinados para el transporte de personas, tanto de uso público como o particular, teniendo de esta manera: Automóviles particulares, Camionetas furgones, VAN, y Taxis.

Por último se procedió a realizar encuestas a distintas cooperativas de transporte, y de igual manera a personas particulares dentro de la ciudad de Cuenca, donde se les preguntó: ¿Cuál es la frecuencia con la que realiza el cambio de neumáticos en su vehículo? Y con esta información se procedió a estimar la producción de neumáticos fuera de uso generados al año.

### **1.5.2 Análisis de la generación de NFU en la provincia del Azuay procedentes de recambios**

Para realizar este análisis se asignara a cada tipología de vehículo un peso medio (Kg/unidad) por tipo de neumático usado, que será multiplicado por el periodo promedio de recambio de neumáticos anuales analizado en el punto 1.5.1, y por un determinado número de neumáticos acorde al tipo de vehículo. Tomando en cuenta al neumático como usado cuando el labrado ya no cumpla con la normativa de circulación (labrado menor a 1.6mm).

Otro aspecto importante en la estimación de NFU generados, es la consideración del proceso de reencauchado, en nuestro país dado que es un beneficio para los transportistas generalmente de vehículos pesado (buses y camiones), se asumirá un factor de reencauche para todos los vehículos de esta índole considerando un promedio de reencauche de dos oportunidades en la vida del neumático, obteniendo de esta manera una aproximación más exacta en la realidad de NFU generados.

Los valores utilizados para el cálculo se detallan en la tabla a continuación, obteniéndose una “tasa” en Kg de NFU procedentes de recambio por tipo de vehículo al año (última columna).

**Tabla 1.6** Kg de NFU promedio producidos de acuerdo al tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Peso medio (Kg/unidad)	N de neumáticos	Kg NFU/vehículo	Tipo de servicio	Reencauche (triplica tiempo de recambio)	Periodo promedio de recambio anual (Veces al año )	Kg NFU/vehículo al año
<b>LIVIANOS</b>							
Automóvil	8	4	32	Alquiler	no	2	64
				Particular	no	0.5	16
Camioneta, SUV, VAN	11	4	44	Alquiler	no	2	88
				Particular	no	0.5	22
<b>PESADOS</b>							
Camiones	52.5	6	315	Alquiler	si	3	315
				Particular	si	1	105
Autobuses	52.5	6	315	Alquiler	si	3	315
				Particular	si	0.5	52.5

**Fuente:** Elaborado por los autores

Estas tasas (Kg NFU/vehículo al año) se aplicaran al parque automotor actual, en concreto, hasta el año 2010 (últimos datos estadísticos publicados por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) sin tomar en cuenta la maquinaria agrícola. De igual manera para estimar la cantidad de NFU generados, tomaremos en consideración los vehículos que tengan un tiempo de existencia no mayor a 20 años por cuestiones de circulación.

**Tabla 1.7** Antigüedad del parque automotor hasta el 2010

PROVINCIA	< 1 año	1 a 5 años	5 a 10 años	10 a 15 años	15 a 20 años	TOTAL
Azuay	13 284	31 101	23 722	19 195	17 421	104 723

**Fuente:** AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador)

Por lo tanto en promedio en nuestra provincia circulan alrededor de 104 723 vehículos, de los cuales representados por tipo de vehículo obtenemos las siguientes cantidades:

**Tabla 1.8** Cantidad de vehículos circulantes en Azuay (1990 – 2010)

TIPO DE VEHICULO	TIPO DE SERVICIO	UNIDADES
Automóvil	Alquiler	3 295
	Particular	37 897
Bus	Alquiler	958
	Particular	262
Camión	Alquiler	1 651
	Particular	6 949
Camioneta	Alquiler	1 531
	Particular	27 905
SUV	Alquiler	22 553
	Particular	460
VAN	Alquiler	800
	Particular	462
TOTAL		104 723

**Fuente:** AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador)

Aplicando las tasas de recambio anteriores a cada tipo de vehículo que circula en la provincia del Azuay obtenemos los NFU (en Kg) generados.

**Tabla 1.9** Generación de NFU anuales procedentes de recambios en la provincia del Azuay

TIPO DE VEHICULO	NFU generados (Kg)/año
Automóvil	817 232
Bus	315 522
Camión	1 249 710
Camioneta	748 638
SUV	1 994 784
VAN	88 564
<b>TOTAL</b>	<b>5 214 453</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores

Por lo tanto la cantidad en peso promedio de NFU producidos por el parque automotor Azuayo anualmente es de 5 214 453Kg, de los cuales acorde a la tabla 1.2 referente a los porcentajes de materiales presentes en los mismos, en cantidades generales se puede extraer:

**Tabla 1.10** Cantidad de materiales presentes en los NFU generado anualmente en la provincia del Azuay

	PORCENTAJE GENERADO	POLVO DE CAUCHO (Kg)	MATERIAL FERROSO (Kg)	ELEMENTOS TEXTILES (Kg)
Vehículos Livianos	70%	2 919 374.40	547 382.7	182 460.9
Vehículos Pesados	30%	1 173 926.25	391 308.75	0
<b>TOTAL</b>		<b>4 093 300.65</b>	<b>938691.45</b>	<b>182 460.9</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores

## **1.6 Estimación de la demanda del entorno próximo**

Las posibilidades de comercialización de los productos valorizados dependen del desarrollo de los productos finales. En nuestro entorno los clientes potenciales son muy numerosos y de gran “entidad” y capacidad, ya que los principales son las administraciones públicas tanto a nivel nacional como a nivel provincial, para la utilización de los productos finales en el asfaltado de carreteras y vías, así como para el consumo de energía. Existen además numerosos clientes potenciales privados (cementeras, acereras, talleres, fabricas automovilísticas, fabricas de calzado, constructoras, etc.) que pueden utilizar de igual manera este producto.

Como parte fundamental para el estudio de la viabilidad económica-financiera, el conocer el volumen de actividad que se llevará a cabo al poner en marcha la línea de procesado, dependerá en gran medida de la demanda potencial del producto que se va a obtener. En nuestro caso el polvo de caucho a base de NFU como material principal reciclado será enfocado para la mejora de la carpeta asfáltica de las vías y carreteras en la provincia del Azuay. A partir de este análisis se podrá dimensionar de forma adecuada la infraestructura, instalación, y se podrá evaluar la rentabilidad y viabilidad del proyecto.

Cabe recalcar que los neumáticos al culminar con su vida útil pasan a ser desechos sólidos, pudiendo en el futuro considerarse adicionalmente en la línea de procesado una demanda por gestión de residuos, siendo esta la prestación de servicio en favor de los dueños o productores de NFU, y puede incluir la recogida, el transporte, la valorización, el reciclaje y la eliminación de los mismos.

### **1.6.1 Análisis de la viabilidad azuaya y la demanda estimada de polvo de caucho para la carpeta asfáltica de la provincia**

En la provincia del Azuay, el proceso de asfaltado de vías se lleva a cabo por parte de la Prefectura del Azuay mediante la empresa pública “ASFALTAR” ubicada en Uzhupud-

Paute, cuyas instalaciones están provisionadas para asfaltar un promedio de 120km de vías al año, con una capacidad de producción de  $35\text{m}^3$  de asfalto por hora.

**Figura 1.9** Asfaltado vía Ochoa León Cuenca-Ecuador



**Fuente:** Prefectura del Azuay

Dado que la mejora de la carpeta asfáltica se obtiene al adicionar el polvo de caucho por el método de “vía seca” (proceso descrito en el punto 1.4.2), la posibilidad de comercializar la venta de polvo de caucho dependerá en porcentaje (1-3%) de la producción asfáltica que la empresa Asfaltar realiza en la provincia.

Para el cálculo, el porcentaje considerado de polvo de caucho sobre el peso de la mezcla asfáltica es de 2%, el cual supondrá en promedio la cantidad necesaria para cubrir con la capacidad total de producción de asfalto que la empresa ASFALTAR posee, por lo tanto:

$$\text{Capacidad productiva "ASFALTAR"} = 35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\delta_{\text{asfalto}} = 2\,300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$2\% \left(35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) = 0.7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{produccion de polvo} = \left(0.7 \frac{m^3}{h}\right) \left(2\,300 \frac{kg}{m^3}\right)$$

$$\text{produccion de polvo} = 1\,610 \frac{kg}{h}$$

Por lo tanto el requerimiento necesario de polvo de caucho será:

$$\text{Producción necesaria de polvo de caucho} = 1\,610 \frac{kg}{h}$$

### 1.6.3 Análisis de materia prima (caucho de NFU) sobre la demanda potencial (polvo de caucho)

La capacidad de transformación del caucho procedente de los NFU generados en la provincia de Azuay a polvo de caucho para la carpeta asfáltica, se obtendrá dada la capacidad de producción de asfalto de la empresa ASFALTAR, por ende tenemos:

$$\text{Materia prima (caucho de NFU) disponible} = 4\,093\,300.65 \frac{Kg}{año}$$

$$\text{Demanda de polvo de caucho} = 1\,610 \frac{kg}{h}$$

Parámetros de trabajo:

- Un turno de 8 horas diarias
- Cinco días a la semana
- Cuatro semanas al mes
- Doce meses al año

$$\text{Materia prima (caucho NFU) necesaria} = \left(1\,610 \frac{kg}{h}\right) \left(1920 \frac{h}{año}\right)$$

$$\text{Materia prima (caucho NFU) necesaria} = 3\,091\,200 \frac{Kg}{año}$$

La cantidad necesaria de materia prima (caucho de NFU) para cumplir con los requerimientos de polvo de caucho para la carpeta asfáltica utilizando el método por vía seca es de  $3\,091\,200 \frac{Kg}{año}$ , que comparado con la materia prima procedente de la provincia representa un 75.5% del total disponible.

## **Conclusiones del capítulo.**

Existen una cantidad considerable de elementos que pueden fabricarse a base del polvo de caucho, logrando así que el procesado de estos elementos sean una fuente generadora de puestos de trabajo.

Analizando la generación de NFU en la provincia del Azuay procedente de recambios, y considerando una demanda de polvo de caucho como un posible componente en la carpeta asfáltica de las vías de la misma provincia, hemos obtenido como resultado una utilización del 75.5% de estos neumáticos, que representa un procesado de 3 091 200Kg de caucho anuales.

Con este dato se podrá efectuar un correcto diseño de la línea de procesado de NFU, cubriendo de esta manera la demanda potencial estimada de polvo de caucho requerido para mejorar las características de las vías y carreteras en la provincia del Azuay.

## **CAPITULO 2**

### **ESTADO DEL ARTE EN TECNOLOGIAS DE OBTENCION DE POLVO DE CAUCHO A BASE DE NFU**

#### **Introducción.**

En el presente capítulo se presenta el proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU en sus diferentes etapas. Se analiza cada una de las tecnologías existentes de reducción de tamaño dentro del proceso, abordando sus características, ventajas y desventajas, al igual que sus parámetros de selección, con una respectiva comparación entre los mismos.

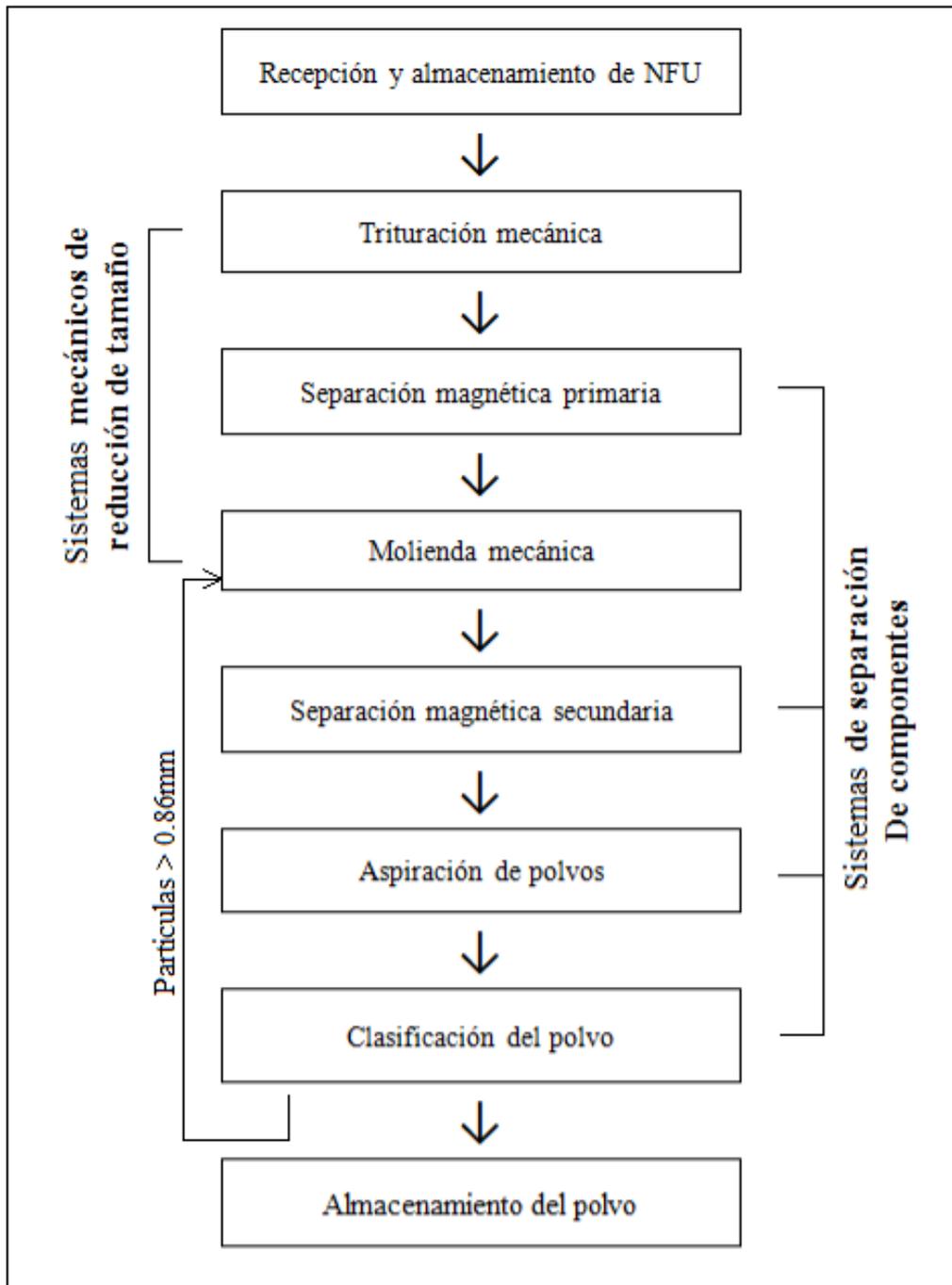
Se estudia los sistemas actuales de separación de materiales luego de los procesos de triturado y molienda mecánica, comparando y analizando de igual forma en los diferentes sistemas sus características principales, ventajas, y desventajas para la selección más adecuada. Por último se realiza la selección de los sistemas más adecuados para el diseño de la línea de procesado en obtención de polvo de caucho a base de NFU, considerando costes, capacidades, procedimientos, ubicaciones, etc.

#### **2.1 Proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU**

El proceso de obtención de polvo de caucho, es la conversión del NFU entero a piezas más pequeñas a medida que son recolectados, es importante anotar que la reducción de tamaño no implica necesariamente una reducción de volumen. Las tecnologías de obtención de polvo de caucho a base de NFU consisten en la separación de los componentes del neumático (caucho, acero, y material textil), por medio de sistemas mecánicos de reducción de tamaño (trituración y molienda), y sistemas de separación (desmetalizado, aspiración de polvos, y tamizado). En el proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU, la producción y los tamaños del polvo de caucho requerido influyen en las fases de reducción de tamaño pudiendo incrementar o reducir los

equipos. En la siguiente figura se esquematiza de forma general una línea de procesado para la obtención de polvo de caucho a base de NFU.

**Figura 2.1** Proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU



**Fuente:** Los autores

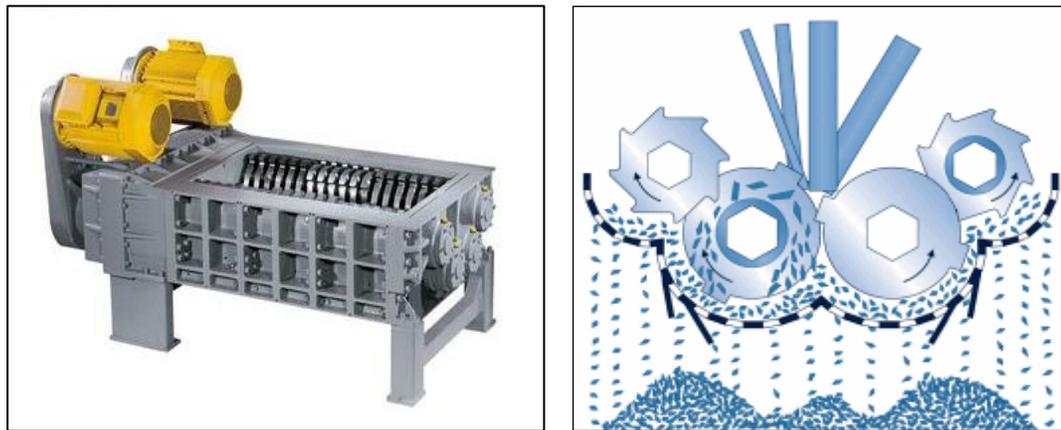
## 2.2 Tecnologías de reducción de tamaño

Los sistemas mecánicos de reducción de tamaño empleados en la obtención de polvo de caucho a base de NFU son dos, trituración mecánica y molienda mecánica.

### 2.2.1 Trituración mecánica

Debido a que los NFU coordinan elasticidad con resistencia a la perfección y además están ayudados por su componente de acero, el proceso de trituración es fundamental en la obtención de polvo de caucho como etapa previa a cualquier sistema de molienda. Este proceso se realiza a través de uno o más trituradores de rotación inversa formados por dos o más ejes paralelos de cuchillas que giran a distintas velocidades.

**Figura 2.2** a) Triturador mecánico, b) Trituración



(a)

(b)

**Fuente:** [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

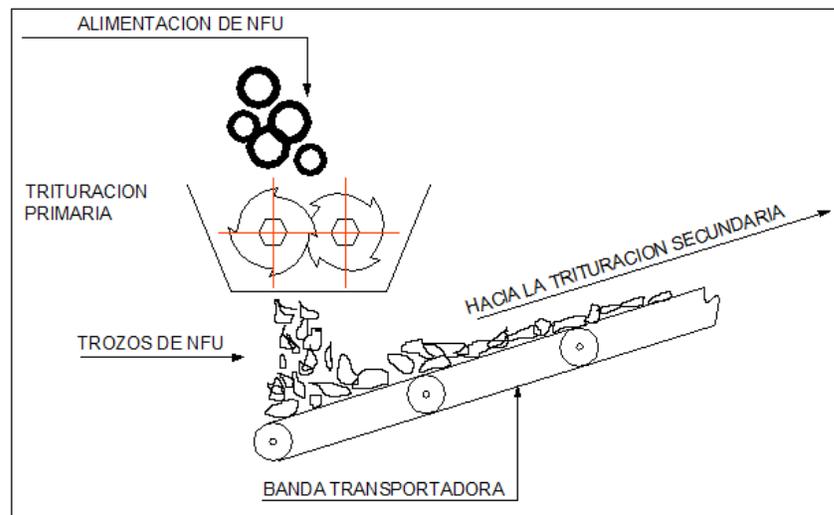
Los trituradores son dispuestos en cascada, en los cuales los NFU enteros son troceados a medida que pasan por ellos y van reduciendo su tamaño hasta llegar a pedazos ideales de aproximadamente 5/8” y 1/4”, además este sistema desprende el 95% del acero que compone el neumático. Estos trituradores también son utilizados en los vertederos o centros de acopio de NFU para reducir su volumen. En las plantas de trituración más modernas, es posible obtener materiales muy puros, sin duda las ventajas más destacables de este tipo de trituración son; el bajo coste de funcionamiento y la ausencia

de emisiones contaminantes, por otro lado entre las desventajas se encuentran; el consumo eléctrico, y el desgaste que sufren las cuchillas

### 2.2.1.1 Proceso de triturado

Los NFU son alimentados al triturador por una tolva, el material es introducido en la cámara de trituración por gravedad, la forma de las cuchillas y la velocidad de rotación de los rodillos (entre 10 a 20 rpm) incorporan al neumático para que este sea triturado por las cuchillas que poseen los ejes. El material triturado pasa por una parrilla situada debajo del rotor, los diámetros de agujeros en la parrilla determinan el tamaño de los pedazos de neumático triturados que se produce.

**Figura 2.3** Trituración mecánica



**Fuente:** Los autores

### 2.2.1.2 Características de los trituradores

Los trituradores de rotación inversa son robustos y eficientes, e ideales para la reducción volumétrica de NFU. Pueden utilizarse a su vez para el tratamiento de cualquier tipo de residuos sólidos. Su bajo número de revoluciones les permiten alcanzar pares elevados con un consumo muy reducido. Los aceros especiales de las cuchillas garantizan una prolongada vida útil y un considerable ahorro en repuestos.

Sus ejes portan desgarradores circulares, que giran entre si en sentidos opuestos, una mayor producción se consigue al aumentar la longitud de los rodillos y el número de ejes porta cuchillas, con el espesor de las cuchillas se puede aumentar la granulometría del caucho. Para el diseño de máquinas de trituración es necesario contar con varios criterios, entre los cuales se incluyen las propiedades requeridas del material a triturar, tamaño de los pedazos resultantes, así como la forma de entrega y la producción potencial, lo cual es totalmente dependiente del material. Las características más importantes en los trituradores están consideradas en su cámara de corte.

**Figura 2.4** Cámara de corte de un triturador



**Fuente:** globalrecyclingequipment

La cámara de corte aloja los elementos que están en contacto directo con los NFU, el diseño y construcción de estos elementos se desarrollan acorde a las características que poseen los neumáticos usados (caucho vulcanizado, textiles, alambres de acero, etc.) para garantizar un buen funcionamiento y una larga durabilidad. Los principales elementos presentes en la cámara de corte de un triturador son los siguientes:

- Ejes
- Porta-cuchillas,
- Separadores, dedos de limpieza y
- Cuchillas

En el diseño de los ejes, la determinación de su tamaño se basa en la distancia de centro, su construcción se la realiza generalmente en acero 4140, su mecanizado es de forma hexagonal, con lo cual se asegura que no haya giro con respecto al eje de los porta-cuchillas al momento de triturar. También estos ejes son montados con dos cojinetes en cada extremo asegurando de esta manera que al producirse un fallo en un cojinete siempre estará disponible una copia.

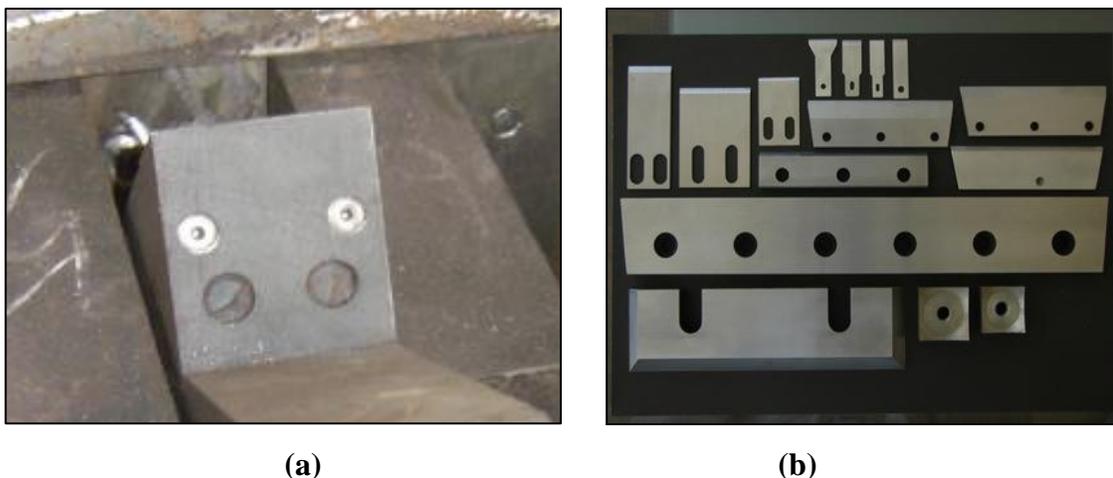
**Figura 2.5** Eje de un triturador



**Fuente:** globalrecyclingequipment

Las cuchillas son las herramientas de corte que desgarran al NFU, y debido a que estos poseen altas características de resistencia por la combinación de sus compuestos, el material de las cuchillas para su óptimo rendimiento se las realiza de materiales cuyas propiedades de dureza y tenacidad son elevadas, entre los materiales de las cuchillas tenemos el carburo de tungsteno y las placas de acero K110 templado. Estas cuchillas al ser muy resistente a la abrasión y por poseer excelente dureza y tenacidad garantizan un correcto desempeño dentro de los trituradores.

**Figura 2.6 a) Cuchilla montada, b) Tipos de cuchillas**



**Fuente:** globalrecyclingequipment

### 2.2.1.3 Clasificación de los trituradores

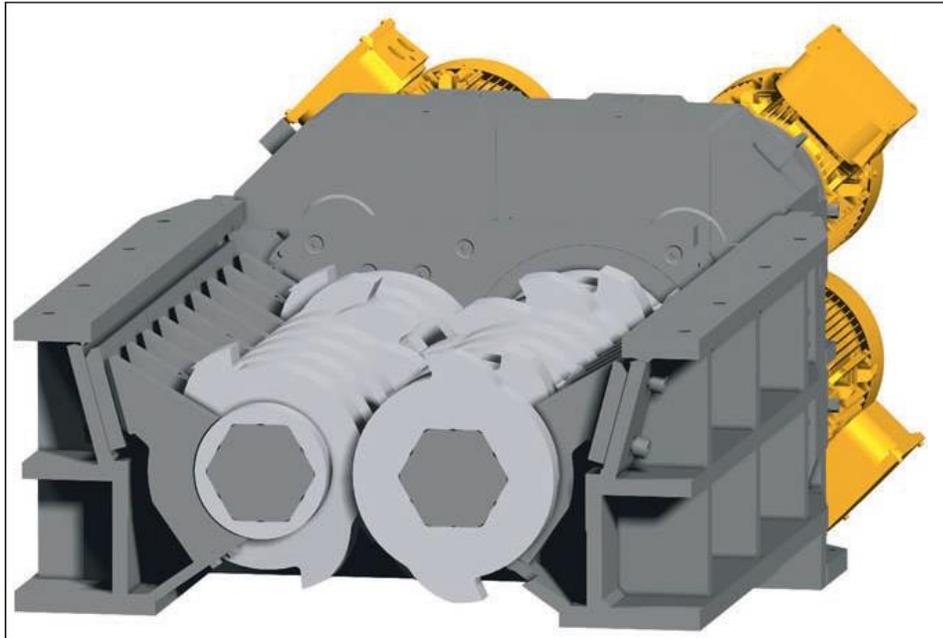
Su clasificación se realiza de acuerdo al número de ejes desgarradores que posee, y estos están divididos en dos grupos:

- Trituradores de dos ejes
- Trituradores de cuatro ejes

#### 2.2.2.3.1 Triturador de dos ejes

Estos trituradores constan de dos o cuatro motores eléctricos (dependiendo su diseño), que sincronizados y conectados a reductores dan un movimiento de giro opuesto con una reducción de velocidad en sus dos rodillos. Estos trituradores de doble eje son ideales para tratamientos que requieren reducción volumétrica y desbastado con control parcial del tamaño del material de salida. Sin la rejilla pueden tratar cantidades de material elevadas. Su estructura especial y el exclusivo sistema de corte les permite procesar los residuos más complicados, como por ejemplo aquellos de gran tamaño, o los que presentan resistencia al corte.

**Figura 2.7** Triturador de dos ejes



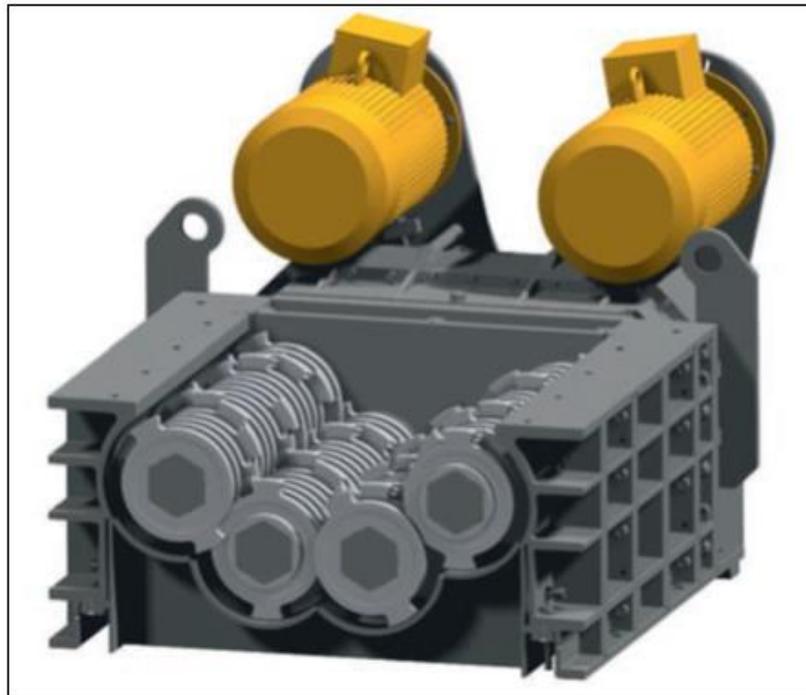
**Fuente:** UNTHA shredding technology

La ventaja que presenta este tipo de triturador es su baja velocidad de rotación, el par de corte es mayor cuando menor sea la velocidad de rotación de sus ejes, por otro lado la incorporación de los neumáticos no es tan eficiente considerándose como necesidad un dispositivo de empuje para realizar la incorporación eficiente de los neumáticos en la cámara de corte.

#### **2.2.1.3.2 Triturador de cuatro ejes**

En este tipo de triturador, el mecanismo cortador agarra e introduce automáticamente los NFU para su correspondiente triturado, el material triturado que no caiga inmediatamente a través de la criba es agarrado por los dientes del mecanismo cortador principal, y llevado hacia arriba para triturarlo nuevamente en el mecanismo secundario de corte, obteniendo un producto final homogéneo exactamente definido gracias a sus cuatro ejes desgarradores.

**Figura 2.8** Triturador de 4 ejes



**Fuente:** UNTHA shredding technology

Su bajo número de revoluciones le permite alcanzar pares elevados con un consumo muy reducido. Los aceros especiales de las cuchillas garantizan una prolongada vida útil y un considerable ahorro en repuestos.

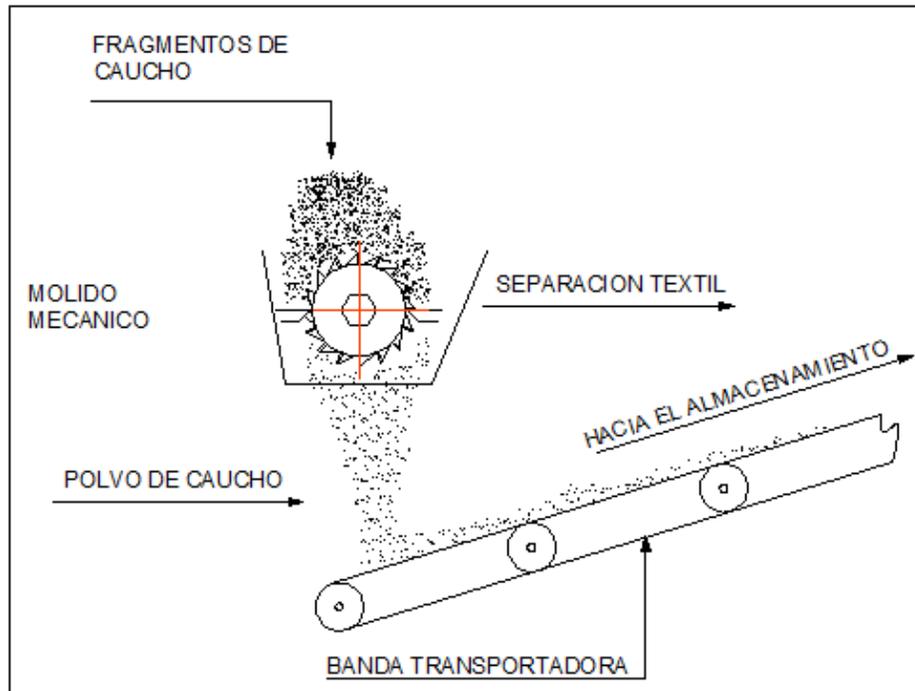
Las trituradoras de cuatro ejes aumentan las posibilidades operativas en el tratamiento de residuos sólidos, combinan la fiabilidad y fuerza de las trituradoras de doble eje con el control del tamaño del material de salida.

### **2.2.2 Molienda mecánica**

La molienda mecánica ha sido utilizada durante mucho tiempo en diferentes elementos para disminuir el tamaño de los mismos en partículas muy pequeñas.

El sistema de molienda aplicado a la obtención de polvo de caucho, recoge el caucho fragmentado libre de acero evitando posibles daños en la máquina. Los dos mayores procesos empleados en la actualidad para la obtención de polvo de caucho son la molienda mecánica a temperatura ambiente, y la molienda criogénica.

**Figura 2.9** Triturador de 4 ejes



**Fuente:** Los autores

### **2.2.2.1 Molienda mecánica a temperatura ambiente.**

Esta molienda es denominada “a temperatura ambiente” ya que el proceso se realiza a la temperatura habitual del ambiente, sin la introducción de agentes congelantes para procesar los pedazos de caucho. El molido a temperatura ambiente resulta seguro y económico si el polvo de caucho a obtener es relativamente grueso (no menor a 0.8mm) aproximadamente.

Esta se lleva a cabo en un molino de rodillo tipo “cracker”, la constitución de estos molinos está dada por un eje o rotor y soportado en una bancado o estator, el rotor contiene ranuras con bordes afilados (cuchillas en forma de triángulo cuya disposición está en desfase entre sus filas) que rompen el caucho, produciendo un cizallamiento del material que se ha introducido por la tolva de carga.

**Figura 2.10** Molino tipo cracker



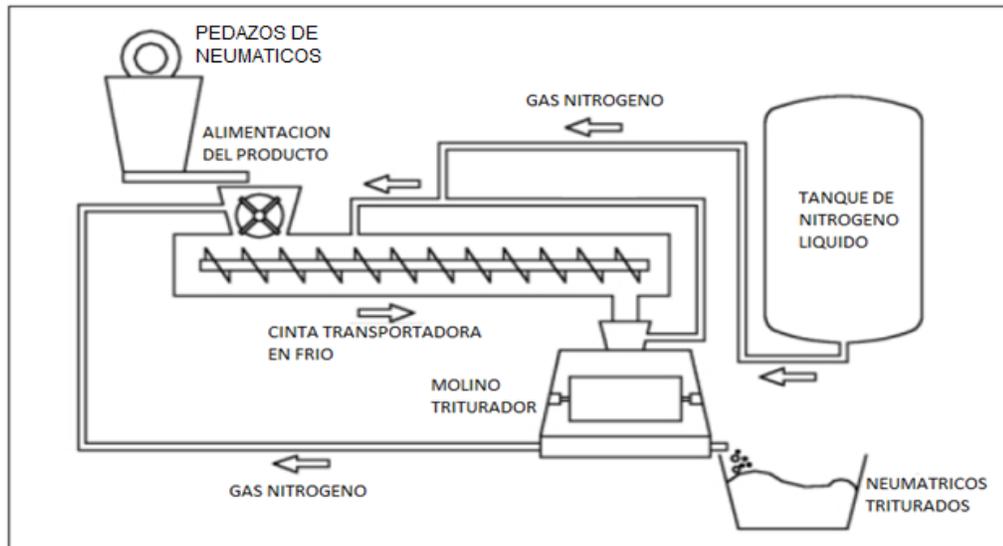
**Fuente:** globalrecyclingequipment

En el sistema de molienda los pedazos de NFU son alimentados al molino por una tolva, el material es introducido en la cámara de molido por gravedad, la forma de las cuchillas en “V” fragmentan los pedazos hasta obtener pedazos minúsculos en el orden de los 0.4mm. El material triturado pasa por una malla situada debajo del rotor, los diámetros de agujeros en la malla determinan el tamaño de los pedazos de neumático molidos que se produce.

#### **2.2.2.2 Molienda mecánica criogénica**

Este proceso involucra una primera etapa de enfriamiento de los pedazos de caucho mediante nitrógeno líquido. Este proceso produce la congelación del caucho de los NFU a una temperatura muy baja (alrededor de -200C) con lo cual el caucho se fragiliza, siendo posible desintegrarlo fácilmente.

**Figura: 2.11** Sistema de molienda criogénica



**Fuente:** [www.ingenieriaquimica.es](http://www.ingenieriaquimica.es)

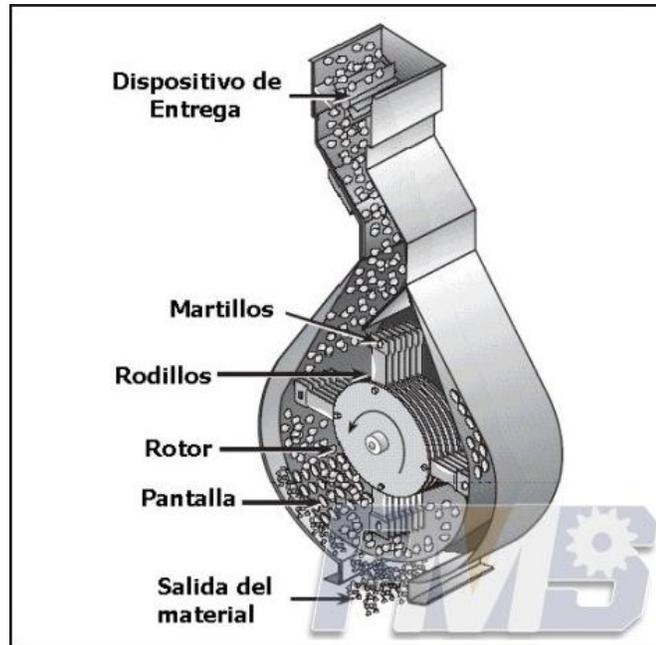
Las piezas congeladas pasan por un molino de impacto (similar a un percutor o martillo) donde son molidos en elementos más finos, menor que 1 *mesh*. El polvo obtenido se seca, se separan la fibra, se extrae el remanente de metal y se clasifica según los tamaños obtenidos.

“[...] El molino de martillos reduce de tamaño las partículas por impacto. La alta velocidad de los martillos produce energía cinética que se disipa en el material causándole desintegración. Las fuerzas de rozamiento también pueden formar parte en la reducción de tamaño. Este molino consta de una tolva alimentación con mecanismo de regulación de martillos fijos u oscilantes montados en un eje de rotación, de una criba y de un sistema de descarga que puede ser por gravedad o por medio de un ventilador. Además por seguridad debe tener un electroimán que impide la entrada de piezas metálicas que puedan dañar el molino.

La finura del molido es controlada principalmente por el tamaño de los orificios de la malla aunque también influyen las RPM del motor y la velocidad de alimentación. La criba a través de la cual pasa el producto molido va montada debajo, sobre o alrededor

de los martillos (estos no deben tocarla). La criba posee agujeros entre 0,75 mm y 1,0 mm [...]”<sup>6</sup>

**Figura: 2.12** Molino de Martillos



**Fuente:** <http://tritadoras-de-roca.com/wiki/Molino-de-martillos-segunda-mano.html>

Las características superficiales de las partículas de caucho obtenidas con este tipo de molienda son diferentes a las obtenidas por molienda a temperatura ambiente, ya que mediante la criogenización estas presentan una forma irregular, una considerable rugosidad superficial, y el caucho es parcialmente oxidado en la superficie debido al nitrógeno líquido, estas diferencias presentes en las partículas de caucho pueden producir diferentes propiedades en el producto final.

### **2.3 Tecnologías de separación de componentes**

La separación de componentes es una operación necesaria en la recuperación y clasificación de elementos sólidos. Para la obtención de polvo de caucho existen tres diferentes técnicas de separación, la separación magnética, la aspiración de polvos, y el tamizado.

---

<sup>6</sup> BAZURTO, JOSE, y otros “Proyecto de rediseño de la cámara de molienda en molinos de martillos para la industria de alimentos balanceados acuícola”, Escuela Politécnica Superior del Litoral, p 2.

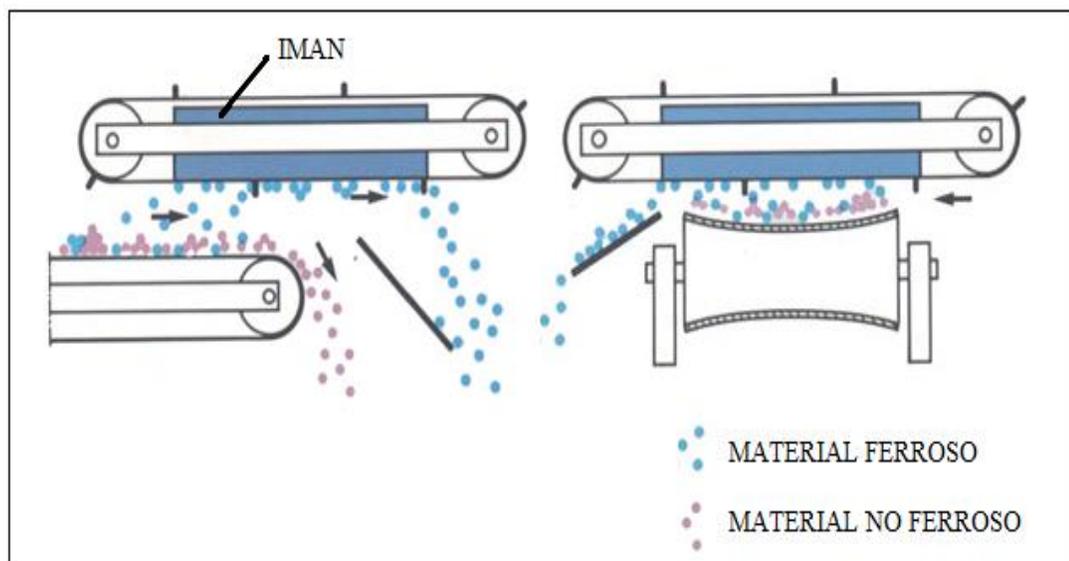
### 2.3.1 Separación magnética

El método empleado en la recuperación de material ferroso en el proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU, es el sistema magnético de recuperación. Los metales ferrosos, generalmente son recuperados después de la fragmentación y antes de la aspiración de polvos. Para la separación magnética de material ferroso durante muchos años se han usado diferentes tipos de equipos, entre los cuales tenemos; el magneto suspendido, la polea magnética, y el tambor magnético suspendido.

#### 2.3.1.1 Magneto suspendido (*overband*)

Se utilizan en la industria de reciclado y de explotación de canteras, se colocan sobre cintas transportadoras, donde extraen de forma continua los contaminantes metálicos de los granulados. El gran imán permanente genera un fuerte campo magnético que atrae los contaminantes ferrosos de la cinta transportadora, una cinta de caucho está en constante movimiento entre los dos rodillos y alrededor del elemento magnético. Los contaminantes se pegan al imán y gracias a la cinta se descargan en un extremo. Se puede suministrar para máquinas portátiles con accionamiento eléctrico o hidráulico.

**Figura 2.13** Magneto suspendido

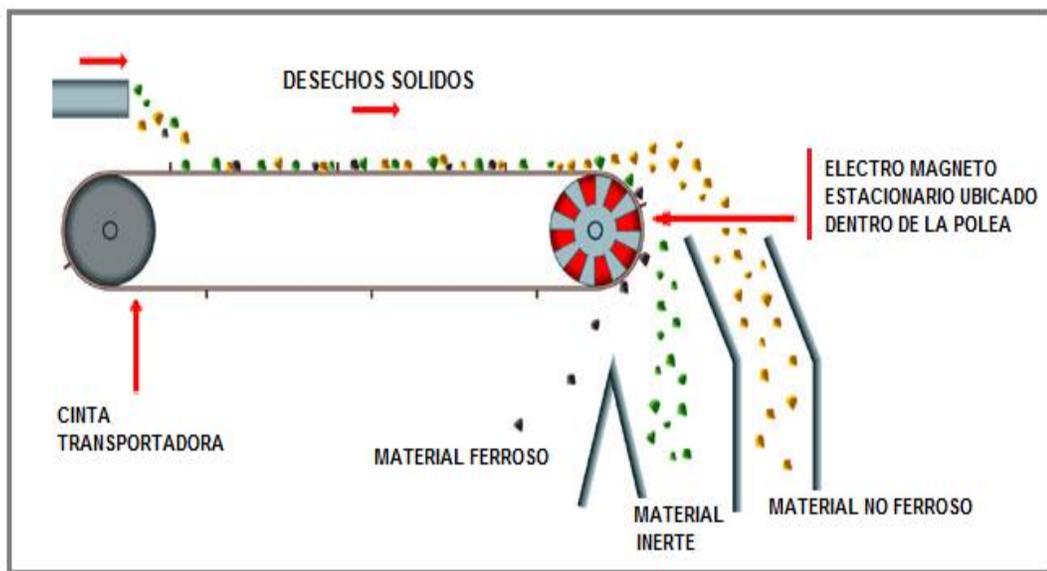


**Fuente:** <http://www.jkmagnetics.com/overband.html>

### 2.3.1.2 Polea Magnética

En este caso el magneto está ubicado estacionario dentro de la polea que forma parte de la cinta transportadora. Al momento que la mezcla es trasladada por esta banda, el magneto retiene el material ferroso una pequeña trayectoria adicional, dejándolo caer separado del caucho y el material textil. Este tipo de magneto es empleado por lo general al final de las líneas de procesado con un elemento deflector.

Figura 2.14 Polea Magnética

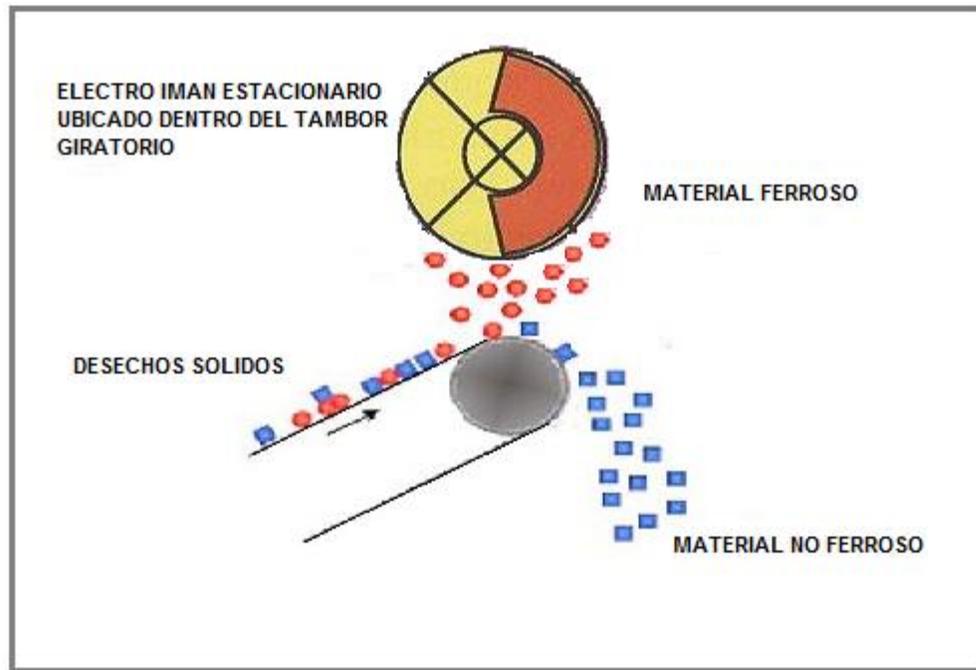


Fuente: TCHOBANOGLOUS, George, desechos sólidos principio de ingeniería

### 2.3.1.3 Tambor magnético suspendido

En este caso, el magneto se encuentra ubicado estacionario dentro de un tambor giratorio, la mezcla obtenida de las fases de reducción de tamaño es conducida hacia el tambor, el cual atrae el material ferroso con un movimiento giratorio. Dejándolo caer separado del resto de materiales solo cuando este se libere del campo magnético. Adicional en este proceso es necesaria la utilización de un rodillo deflector, para una correcta separación final de los productos.

**Figura 2.15** Tambor magnético suspendido



**Fuente:** TCHOBANOGLIOUS, George, desechos solidos principio de ingeniería

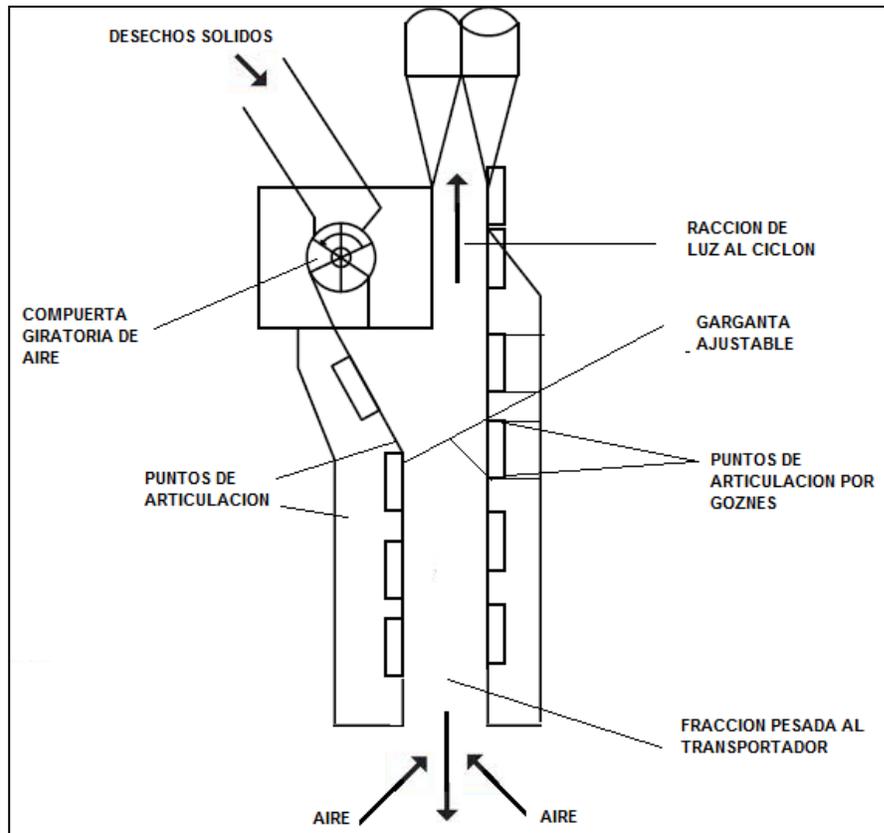
### **2.3.2 Aspiración de polvos.**

La clasificación con aire ha sido utilizada durante varios años en operaciones industriales para la separación de varios componentes en mezclas secas, en la obtención de polvo de caucho a base de NFU se usa esta clasificación para separar la fracción liviana (material textil), del material más pesado presente en la mezcla. Los tipos de sistemas utilizados son los siguientes:

#### **2.3.2.1 Separación convencional en conducto**

En uno de los tipos de clasificadores más simples, los elementos a separar son vaciados en un ducto vertical, el aire que asciende desde el fondo del ducto se utiliza para transportar los materiales más livianos hasta el tope del ducto. Los materiales mas pesados caen al fondo debido a que el flujo del aire ascendente es insuficiente para transportar dichos materiales.

**Figura 2.16** Separación convencional de conducto



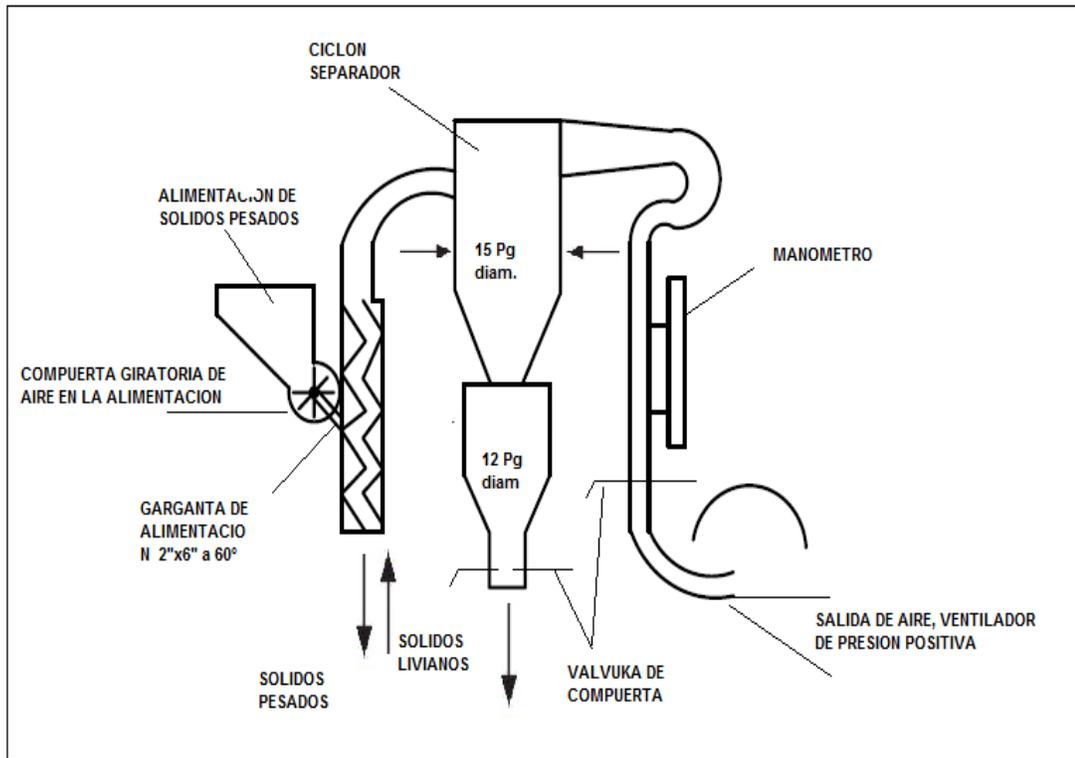
**Fuente:** TCHOBANOGLIOUS, George, desechos solidos principio de ingeniería

El control del porcentaje separado entre las fracciones livianas pesadas se realiza variando la carga de desecho, el flujo de aire y la selección transversal del ducto. Es necesario un mecanismo giratorio, a prueba de aire, para introducir los desechos desmenuzados en el clasificador.

### 2.3.2.2 Separación de zigzag

Este sistema consiste en una columna vertical con deflectores internos en zigzag a través de los cuales pasan grandes cantidades de aire. Los desechos desmenuzados son introducidos por la parte superior de la columna a una tasa controlada, y se introduce aire en el fondo de la columna. A medida que los desechos caen sobre la corriente de aire, la fracción liviana es fluizada y se mueve hacia arriba fuera de la columna, mientras la fracción pesada cae hacia el fondo.

**Figura 2.17** Separación de zigzag



**Fuente:** TCHOBANOGLOUS, George, desechos sólidos principio de ingeniería

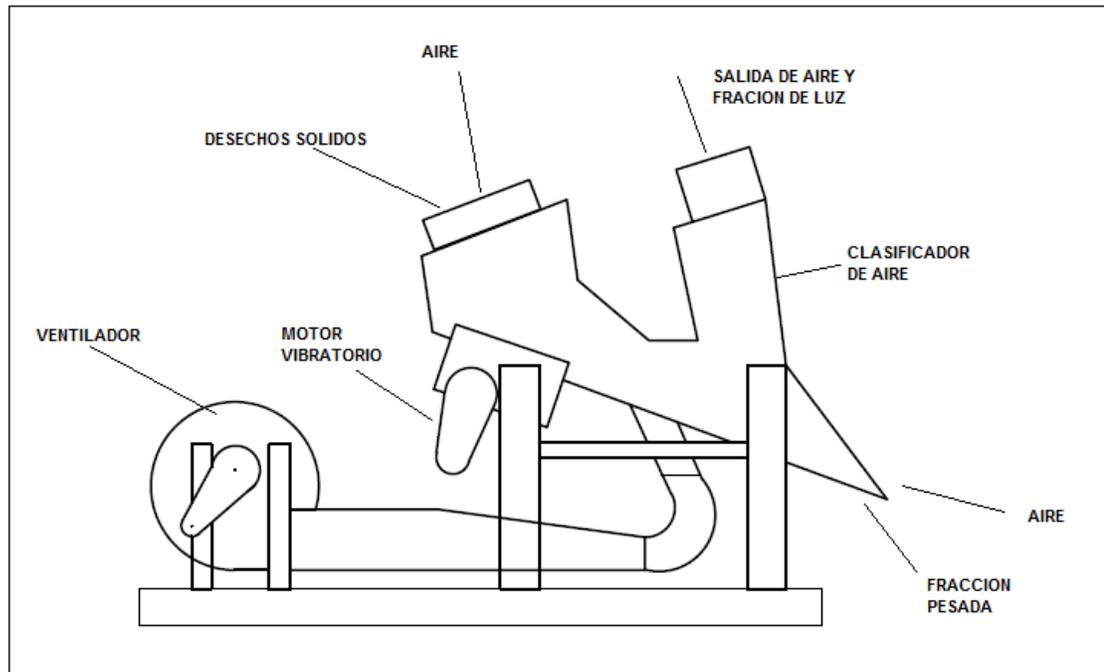
En teoría, cada cambio y dirección producido por el zigzag crea turbulencia en la corriente de aire y esta a su vez hace que los desechos den vueltas y los materiales compactados se separen. La mejor separación se obtiene del diseño apropiado de la cámara de separación, el flujo de aire y la tasa de alimentación de la mezcla.

### **2.3.2.3 Separación tipo vibrado de entrada abierta**

En esta unidad la separación de la fracción liviana se logra por la combinación de tres acciones. La primera es vibración, que ayuda a estratificar el material alimentado al separador en componentes pesados y livianos. La agitación tiende a sedimentar las partículas más pesadas al fondo a medida que los desechos fragmentados son transportados descendiendo a lo largo del separador.

La segunda acción sobre el material es un efecto de inercia en el cual el aire que entra a la alimentación imparte una aceleración inicial a las partículas más livianas mientras los desechos descenden al separador a medida que están siendo agitados.

**Figura 2.18** Separación tipo vibrado de entrada abierta



**Fuente:** TCHOBANOGLIOUS, George, desechos sólidos principio de ingeniería

La tercera acción que completa la función del separador es la inyección del aire fluidizador en una o más velocidades elevadas, en cortinas de flujo a través del lecho. Este aire fluidizante cambia la dirección de las partículas más livianas y las mueve en una posición para ser recogidas y sacadas de la unidad por aire que sale. El volumen del aire que sale es 3 veces el del aire fluidizador.

Se ha reportado que la separación resultante es menos sensible al tamaño de las partículas que un separador convencional vertical ya sea recto o en zigzag. En cambio una ventaja en este tipo de separador es que no necesita un mecanismo a prueba de aire en la entrada de alimentación. Los materiales se alimentan por gravedad directamente en el separador.

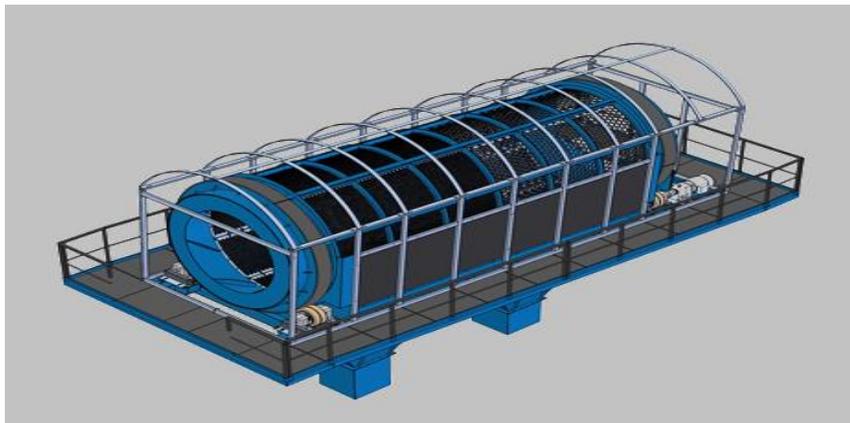
### 2.3.3 Tamizado

El Tamizado comprende la clasificación de uno o más elementos de diferentes tamaños en dos o más proporciones por medio de una o más superficies de tamizado. El tamizado se puede realizar en húmedo o seco, este último es más común en sistemas de clasificación de partículas, la operación de clasificación esta sobre tamaños entre  $40\mu\text{m}$  y  $150\mu\text{m}$  y son de tipo giratorio y de mallas vibrantes.

#### 2.3.3.1 Tambor de malla giratoria

Estas cribas poseen una serie de largos cilindros concéntricos con una ligera inclinación ( $5 - 20^\circ$ ), cuyas paredes son de malla, por la cual al ir girando el cilindro pasa el material al siguiente cilindro, o bien si es retenido continua resbalando por la malla del cilindro hasta ser conducido a una tolva de almacenamiento, de esta manera se tendrán tantas tolvas como cilindros de criba.

**Figura 2.19** Criba rotativa



**Fuente:** <http://nicbin.com/archives/portfolio/tromel-clasificador>

Existen en explotación industrial variedades de este tipo, pero en todos los casos el diámetro interior de la criba oscila entre 1000 y 2000mm y de longitud entre 3000 y 6000mm en los grandes, para aparatos pequeños las dimensiones oscilan entre 500 y 1000 metro de diámetro y 500 y 1000 metro de largo.

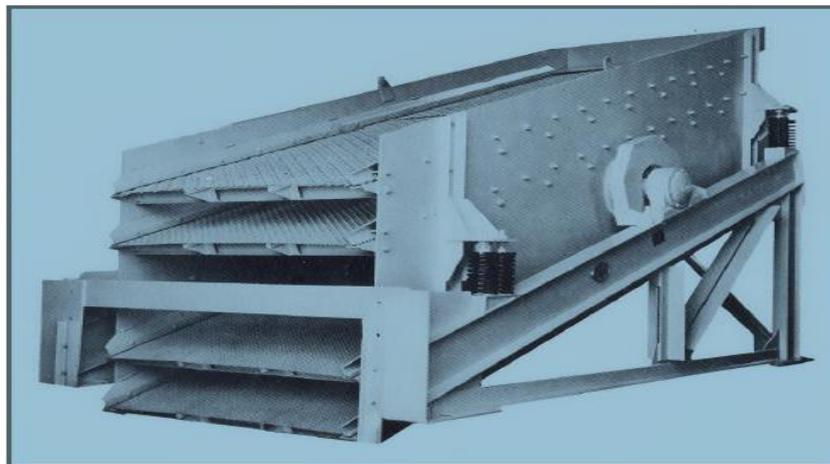
Aunque estas cribas, proporcionan un trabajo continuo sin vibraciones que afecten su estructura, presentan la desventaja de una capacidad relativamente baja además de una baja eficiencia de tamizado, fundamentalmente para el tamizado fino. La eficiencia aumenta considerablemente si el tamizado se realiza por vía húmeda, rociando con duchas a presión el material en el interior del cilindro

Los componentes básicos consisten de un juego de cribas que se apoyan sobre una mesa montada en resortes sobre una base; por debajo de la mesa esta un motor suspendido con dobles extensiones de flecha, que impulsan los pesos excéntricos, y al hacerlo efectúa el movimiento giratorio horizontal. Una ventaja de las cribas giratorias es que sus costos de mantenimiento y reparación son muy bajos.

### **2.3.3.2 Cribas vibrantes**

Las cribas vibratorias son las más empleadas en la producción de agregados, en general estas cribas son cajas de diferentes tamaños equipadas con una o varias rejillas con diferentes tamices. Se instalan con una ligera pendiente, que junto con las vibraciones provoca que vaya fluyendo las partículas de mayor tamaño sobre la malla, mientras que las de menor tamaño que los orificios pasan cayendo a la malla inferior o al fondo de la criba para seguir o concluir el proceso de clasificación respectivamente.

**Figura 2.20** Criba vibrante



**Fuente:** <http://ebookbrowse.com/tema-6-cribado-pdf-d343131558>

Debido a los numerosos equipos que hay operando en las diferentes etapas en la industria de procesos, estas cribas son las más importantes, y en función de la pendiente de la superficie de cribado y del tipo de vibración, se clasifican en:

- Cribas de vibración lineal y pendiente media
- Cribas de vibración circular y pendiente media
- Cribas de vibración elíptica o rectilínea y horizontales o ligeramente inclinadas.
- 

## **2.4 Selección de sistemas y equipos para la línea de procesado de NFU**

Las técnicas y herramientas de selección tienen como objetivo el tomar una decisión entre dos o más elementos, la noción de selección implica siempre una decisión de la forma más coherente posible, de tal manera que la selección produzca el mejor resultado para la empresa u organización.

### **2.4.1 Método de ponderación.**

El método de ponderación realiza un proceso de evaluación en base al cálculo sistematizado de cada elemento dentro de unos criterios, donde se califica cada uno de los ítems a revisar.

#### **2.4.1.1 Definición de criterios objetivos**

El primer paso es la definición de criterios que son importantes a la hora de realizar una selección. Normalmente estos son tomados de los objetivos estratégicos de la organización teniendo en cuenta la misión, visión y los objetivos con los que se pretende desarrollar la empresa durante el periodo de gestión. Sin embargo, en caso que la empresa no tenga desarrollado un plan estratégico, puede establecer criterios de tipo económico-financiero, de posicionamiento en el mercado, de ventas, desarrollo humano, producción, etc.

#### **2.4.1.2 Ponderación de criterios**

Es lógico pensar que no todos los criterios tienen la misma importancia para la selección. Las personas implicadas en la toma de decisión deben considerar otorgar a cada criterio un peso o ponderación entre un rango determinado. La puntuación para la selección del triturador primario se la ha considerado entre uno y cinco, donde uno es el menos importante y cinco el más importante. El procedimiento para realizar la ponderación es definir la importancia de cada criterio y luego de forma independiente cada uno con un valor numérico. Los criterios se consolidan y mediante una fórmula estadística como la moda o el valor promedio, se calcula el valor ponderado del criterio.

#### **2.4.1.3 Puntuación de la selección**

El siguiente paso consiste en valorar cada una de las máquinas en relación a los criterios, para esto se diseñó un formato de evaluación donde se puede registrar los datos del equipo y se puede evaluar en relación a cada criterio. La escala de puntuación puede variar, sin embargo para este caso se otorgó a cada proyecto una puntuación del uno al diez.

#### **2.4.2.4 Resultados**

Para calcular los resultados se debe sumar los valores totales de cada criterio y proyecto calculados a partir de todas las evaluaciones multiplicadas por el peso y se ordenan como se muestran en la tabla siguiente.

### **2.4.2 Selección del triturador primario**

#### **2.4.2.1 Criterios de selección del triturador primario**

- Costo de la maquinaria (CM)
- Homogeneidad del triturado (HT)

- Posibilidad que surja producción para combustión (PC)
- Alimentación del material (AM)

#### 2.4.2.2 Ponderación de criterios de selección del triturador primario

**Tabla 2.1** Ponderación de criterios de selección para el triturador primario

CRITERIO	MEDINA. R	CARPIO. X.	PONDERACION
Costo de la maquinaria (CM)	5	5	5
Homogeneidad del triturado (HT)	1	2	1.5
Posibilidad que surja producción para combustión (PC)	4	3	3.5
Alimentación del material (AM)	2	1	1.5

**Fuente:** Los autores

#### 2.4.2.3 Puntuación de los criterios de selección del triturador primario

**Tabla 2.2** Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	MEDINA. R.
MAQUINA:	TRITURADOR DE DOS EJES		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES		
Costo de la maquinaria (CM)	9	Es un proyecto que está empezando		
Homogeneidad del triturado (HT)	2	No produce gran homogeneidad en los trozos de neumático		
Producción para combustión (PC)	9	Su reducción a elementos pequeños es rápida		
Alimentación del material (AM)	5	En ocasiones es necesario un empujador		

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.3** Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	CARPIO. X.
MAQUINA:	TRITURADOR DE DOS EJES		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES		
Costo de la maquinaria (CM)	9	Influye considerablemente en el arranque del proyecto		
Homogeneidad del triturado (HT)	3	No es representativo en el primer proceso		
Producción para combustión (PC)	8	Producción rápida y buena para productos de incineración		
Alimentación del material (AM)	3	Necesita empujador		

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.4** Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	MEDINA. R.
MAQUINA:	TRITURADOR DE CUATRO EJES		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES		
Costo de la maquinaria (CM)	2	Es elevado en función para un primer triturado		
Homogeneidad del triturado (HT)	8	Tiene gran homogeneidad		
Producción para combustión (PC)	9	Excelente		
Alimentación del material (AM)	8	No necesita empujador		

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.5** Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	CARPIO. X.
MAQUINA:	TRITURADOR DE CUATRO EJES		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO		EV.	OBSERVACIONES	
Costo de la maquinaria (CM)		4	Para una primera trituración no amerita	
Homogeneidad del triturado (HT)		8	Su homogeneidad es total	
Producción para combustión (PC)		7	Mientras más pequeños los pedazos, mejor para incinerar	
Alimentación del material (AM)		8	Su alimentación es automática	

**Fuente:** Los autores

Una vez obtenidos todas las evaluaciones se consolida los resultados teniendo en cuenta los registros desarrollados por el evaluador.

**Tabla 2.6** Cuadro general de Registro de evaluación de los trituradores de dos y cuatro ejes

CUADRO DE EVALUACIONES					
MAQUINA	EVALUADOR	CRITERIO	EVALUACION	PESO	TOTAL
Triturador dos ejes	Medina. R.	CM	9	5	45
Triturador dos ejes	Medina. R.	HT	2	1.5	3
Triturador dos ejes	Medina. R.	PC	9	3.5	31.5
Triturador dos ejes	Medina. R.	AM	5	1.5	7.5
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	CM	2	5	10
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	HT	8	1.5	12
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	PC	9	3.5	31.5
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	AM	8	1.5	12
Triturador dos ejes	Carpio. X.	CM	9	5	45
Triturador dos ejes	Carpio. X.	HT	3	1.5	4.5
Triturador dos ejes	Carpio. X.	PC	8	3.5	28
Triturador dos ejes	Carpio. X.	AM	3	1.5	4.5
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	CM	4	5	20
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	HT	8	1.5	12
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	PC	7	3.5	24.5
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	AM	8	1.5	12

**Fuente:** Los autores

#### 2.4.2.4 Resultados de la ponderación de selección del triturador primario

**Tabla 2.7** Resultados del Registro de evaluación para el triturador primario

CRITERIO	TRITURADOR DOS EJES	TRITURADOR CUATRO EJES
CM	90	30
HT	7.5	24
PC	59.5	56
AM	12	24
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>169</b>	<b>134</b>

**Fuente:** Los autores

La maquinaria que mayor puntaje genera para un triturado primario es el que tiene mayor prioridad. En este caso es el triturador de dos ejes que con 169 puntos obtuvo la mayor calificación.

#### 2.4.3 Selección del triturador secundario

##### 2.4.3.1 Criterios de selección del triturador secundario

- Costo de la maquinaria (CM)
- Homogeneidad del triturado (HT)
- Posibilidad que surja producción para combustión (PC)
- Alimentación del material (AM)
- Ponderación de los criterios

##### 2.4.3.2 Ponderación de criterios de selección del triturador secundario

**Tabla 2.8** Ponderación de criterios de selección para el triturador secundario

CRITERIO	MEDINA. R	CARPIO. X.	PONDERACION
Costo de la maquinaria (CM)	2	3	2.5
Homogeneidad del triturado (HT)	5	5	5
Posibilidad DE producción para combustión (PC)	4	4	4
Alimentación del material (AM)	4	5	4.5

**Fuente:** Los autores

### 2.4.3.3 Puntuación de los criterios de selección del triturador secundario

**Tabla 2.9** Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR: MEDINA. R.
MAQUINA:	TRITURADOR DE DOS EJES		FECHA: 01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Costo de la maquinaria (CM)	9	Es un proyecto que está empezando	
Homogeneidad del triturado (HT)	2	No tiene gran homogeneidad	
Producción para combustión (PC)	9	Su reducción a elementos pequeños es rápida	
Alimentación del material (AM)	5	En ocasiones es necesario un empujador	

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.10** Registro de evaluación de criterios para el triturador de dos ejes (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR: CARPIO. X.
MAQUINA:	TRITURADOR DE DOS EJES		FECHA: 01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Costo de la maquinaria (CM)	9	Influye considerablemente en el arranque del proyecto	
Homogeneidad del triturado (HT)	3	No produce elementos homogéneos	
Producción para combustión (PC)	8	Producción rápida y buena para productos de incineración	
Alimentación del material (AM)	3	Necesita empujador	

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.11** Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR: MEDINA. R.
MAQUINA:	TRITURADOR DE CUATRO EJES		FECHA: 01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Costo de la maquinaria (CM)	5	Adecuado para el trabajo a realizar	
Homogeneidad del triturado (HT)	2	Para una trituración previa al molido es muy importante	
Producción para combustión (PC)	8	Su reducción a elementos pequeños es rápida	
Alimentación del material (AM)	9	No necesita empujador	

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.12** Registro de evaluación de criterios para el triturador de cuatro ejes (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR: CARPIO. X.
MAQUINA:	TRITURADOR DE CUATRO EJES		FECHA: 01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Costo de la maquinaria (CM)	4	Influye considerablemente en el arranque del proyecto	
Homogeneidad del triturado (HT)	8	Necesario	
Producción para combustión (PC)	7	Producción rápida y buena para productos de incineración	
Alimentación del material (AM)	8	Es automática	

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.13** Cuadro general de registro de evaluación para el triturador secundario

CUADRO DE EVALUACIONES					
MAQUINA	EVALUADOR	CRITERIO	EVALUACION	PESO	TOTAL
Triturador dos ejes	Medina. R.	CM	9	2.5	22.5
Triturador dos ejes	Medina. R.	HT	2	5	10
Triturador dos ejes	Medina. R.	PC	9	4	36
Triturador dos ejes	Medina. R.	AM	5	4.5	22.5
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	CM	2	2.5	5
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	HT	8	5	40
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	PC	9	4	36
Triturador cuatro ejes	Medina. R.	AM	8	4.5	36
Triturador dos ejes	Carpio. X.	CM	9	2.5	22.5
Triturador dos ejes	Carpio. X.	HT	3	5	15
Triturador dos ejes	Carpio. X.	PC	8	4	32
Triturador dos ejes	Carpio. X.	AM	3	4.5	13.5
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	CM	4	2.5	10
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	HT	8	5	40
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	PC	7	4	28
Triturador cuatro ejes	Carpio. X.	AM	8	4.5	36

Fuente: Los autores

#### 2.4.3.4 Resultados de la ponderación de selección del triturador secundario

**Tabla 2.14** Resultado del registro de evaluación para el triturador secundario

CRITERIO	TRITURADOR DOS EJES	TRITURADOR CUATRO EJES
CM	45	15
HT	25	80
PC	68	64
AM	36	72
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>174</b>	<b>231</b>

Fuente: Los autores

La maquinaria que mayor puntaje genera para un triturado secundario es el que tiene mayor prioridad. En este caso es el triturador de cuatro ejes que con 231 puntos obtuvo la mayor calificación.

## 2.4.4 Selección del sistema de molienda

### 2.4.4.1 Criterios de selección del sistema de molienda

- Costo del sistema (CS)
- Temperatura de funcionamiento (TF)

### 2.4.4.2 Ponderación de los criterios de selección del sistema de molienda

**Tabla 2.15** Ponderación de criterios para la selección del sistema de molienda

CRITERIO	MEDINA. R	CARPIO. X.	PONDERACION
Costo del sistema (CS)	4	5	4.5
Temperatura de funcionamiento (TF)	4	4	4

**Fuente:** Los autores

### 2.4.4.3 Puntuación de los criterios de selección del sistema de molienda

**Tabla 2.16** Registro de evaluación de criterios para molienda mecánica (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	MEDINA. R.
SISTEMA:	MOLIENDA MECANICA		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES		
Costo del sistema (CS)	9	Adecuado para el trabajo que va a realizar		
Temperatura de funcionamiento(TF)	9	Temperaturas elevadas, o mínimas implica complejidad		

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.17** Registro de evaluación de criterios para molienda mecánica (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	CARPIO. X.
MAQUINA:	MOLIENDA MECANICA		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO		EV.	OBSERVACIONES	
Costo del sistema (CS)		10	Adecuado para el trabajo que va a realizar	
Temperatura de funcionamiento(TF)		10	Ideal a temperatura ambiente	

Fuente: Los autores

**Tabla 2.18** Registro de evaluación de criterios para molienda criogénica (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	MEDINA. R.
SISTEMA:	MOLIENDA CRIOGENICA		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO		EV.	OBSERVACIONES	
Costo del sistema (CS)		1	Elevado dado los sistemas de criogenización y secado	
Temperatura de funcionamiento(TF)		1	Complejo dado la utilización del nitrógeno líquido	

Fuente: Los autores

**Tabla 2.19** Registro de evaluación de criterios para molienda criogénica (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA				
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	CARPIO. X.
SISTEMA:	MOLIENDA CRIOGENICA		FECHA:	01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.				
CRITERIO		EV.	OBSERVACIONES	
Costo del sistema (CS)		2	No es necesaria mucha inversión para este proyecto	
Temperatura de funcionamiento(TF)		2	Compleja y no amerita	

Fuente: Los autores

Una vez obtenidos todas las evaluaciones se consolida los resultados teniendo en cuenta los registros desarrollados por el evaluador.

**Tabla 2.20** Cuadro general de registro de evaluación de los sistemas de molienda

CUADRO DE EVALUACIONES					
MAQUINA	EVALUADOR	CRITERIO	EVALUACION	PESO	TOTAL
Molienda mecánica	Medina. R.	CS	9	4.5	40.5
Molienda mecánica	Medina. R.	TF	9	4	36
Molienda criogénica	Medina. R.	CS	1	4.5	4.5
Molienda criogénica	Medina. R.	TF	1	4	4
Molienda mecánica	Carpio. X.	CS	10	4.5	40.5
Molienda mecánica	Carpio. X.	TF	10	4	40
Molienda criogénica	Carpio. X.	CS	2	4.5	9
Molienda criogénica	Carpio. X.	TF	2	4	8

**Fuente:** Los autores

#### 2.4.4.4 Resultados de la ponderación de selección del sistema de molienda

**Tabla 2.21** Resultados del registro de evaluación para el sistema de molienda

CRITERIO	MOLIENDA TEM. AMBIENTE.	MOLIENDA CRIOGENICA.
CS	81	13.5
TF	76	12
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>157</b>	<b>25.5</b>

**Fuente:** Los autores

El sistema de molido mecánico que mayor puntaje genera es el que trabaja a temperatura ambiente con 157 puntos. Por lo tanto es el sistema más opcionado.

#### 2.4.5 Selección del sistema de separación magnética

##### 2.4.5.1 Criterios de selección del sistema de separación magnética

- Mantenimiento del equipo (ME)
- Lugar de trabajo (LT)
- Costo del equipo (CE)

### 2.4.5.2 Ponderación de criterios de selección del sistema de separación magnética

**Tabla 2.22** Ponderación de criterios de selección para el sistema de separación magnética

CRITERIO	MEDINA. R	CARPIO. X.	PONDERACION
Mantenimiento (ME)	4	3	3.5
Lugar de trabajo (LT)	5	5	5
Costo del equipo (CE)	4	3	3.5

**Fuente:** Los autores

### 2.4.5.3 Puntuación de los criterios de selección del sistema de separación magnética

**Tabla 2.23** Registro de evaluación de criterios para el sistema magneto suspendido (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:
MAQUINA:	MAGNETO SUSPENDIDO		FECHA:
MEDINA. R.			
01/05/2013			
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Mantenimiento (M)	9	Fácil por su sencillez	
lugar de trabajo (LT)	10	Ideal en la trayectoria	
Costo del equipo (CE)	7	Adecuado para su función	

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.24** Registro de evaluación de criterios para el sistema magneto suspendido (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:
MAQUINA:	MAGNETO SUSPENDIDO		FECHA:
CARPIO X.			
01/05/2013			
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Mantenimiento (M)	10	Sencillo	
lugar de trabajo (LT)	8	Apropiado sobre la banda transportadora	
Costo del equipo (CE)	8	Barato	

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.25** Registro de evaluación de criterios para el sistema polea magnética (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR: MEDINA. R.
MAQUINA:	POLEA MAGNETICA		FECHA: 01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Mantenimiento (M)	6	Un poco compleja	
lugar de trabajo (LT)	7	Ideal para finales en producción	
Costo del equipo (CE)	4	Elevado	

**Fuente:** Los autores**Tabla 2.26** Registro de evaluación de criterios para el sistema polea magnética (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR: CARPIO X.
MAQUINA:	POLEA MAGNETICA		FECHA: 01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Mantenimiento (M)	7	Complejo	
lugar de trabajo (LT)	8	Final de una banda	
Costo del equipo (CE)	6	elevado	

**Fuente:** Los autores**Tabla 2.27** Registro de evaluación de criterios para el sistema tambor magnético (evaluación 1)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA			
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR: MEDINA. R.
MAQUINA:	TAMBOR MAGNETICO		FECHA: 01/05/2013
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.			
CRITERIO	EV.	OBSERVACIONES	
Mantenimiento (M)	5	Complejo	
lugar de trabajo (LT)	7	Ideal para final de proceso	
Costo del equipo (CE)	4	Elevado	

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.28** Registro de evaluación de criterios para el sistema tambor magnético (evaluación 2)

HOJA DE REGISTRO DE EVALUACION DE MAQUINARIA					
PROYECTO:	LINEA DE PROCESADO NFU		NOMBRE DEL EVALUADOR:	CARPIO X.	
MAQUINA:	TAMBOR MAGNETICO		FECHA:	01/05/2013	
NOTA: Cada ítem será evaluado con una calificación entre 1 y 10 donde 1 se relaciona poco con el criterio y 10 que está totalmente asociado al criterio.					
CRITERIO		EV.	OBSERVACIONES		
Mantenimiento (M)		4	Dado su tambor magnético es complejo		
lugar de trabajo (LT)		4	Al final de la banda transportadora		
Costo del equipo (CE)		4	costoso		

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.29** Cuadro general de registro de evaluaciones del sistema de separación magnética

CUADRO DE EVALUACIONES					
MAQUINA	EVALUADOR	CRITERIO	EVALUACION	PESO	TOTAL
MAGNETO SUSPENDIDO	Medina. R.	M	9	3,5	31,5
MAGNETO SUSPENDIDO	Medina. R.	LT	10	5	50
MAGNETO SUSPENDIDO	Medina. R.	CE	7	3,5	24,5
POLEA MAGNETICA	Medina. R.	M	6	3,5	21
POLEA MAGNETICA	Medina. R.	LT	7	5	35
POLEA MAGNETICA	Medina. R.	CE	4	3,5	14
TAMBOR MAGNETICO	Medina. R.	M	5	3,5	17,5
TAMBOR MAGNETICO	Medina. R.	LT	7	5	35
TAMBOR MAGNETICO	Medina. R.	CE	4	3,5	14
MAGNETO SUSPENDIDO	Carpio. X.	M	10	3,5	35
MAGNETO SUSPENDIDO	Carpio. X.	LT	8	5	40
MAGNETO SUSPENDIDO	Carpio. X.	CE	8	3,5	28
POLEA MAGNETICA	Carpio. X.	M	7	3,5	24,5
POLEA MAGNETICA	Carpio. X.	LT	8	5	40
POLEA MAGNETICA	Carpio. X.	CE	6	3,5	21
TAMBOR MAGNETICO	Carpio. X.	M	4	3,5	14
TAMBOR MAGNETICO	Carpio. X.	LT	4	5	20
TAMBOR MAGNETICO	Carpio. X.	CE	4	3,5	14

**Fuente:** Los autores

#### 2.4.5.4 Resultados de la ponderación de selección del sistema de separación magnética

**Tabla 2.30** Resultados del registro de evaluación para el sistema de separación magnético

CRITERIO	MAGNETO SUSPENDIDO	POLEA MAGNETICA	TAMBOR MAGNETICO
M	66.5	45.5	31.5
LT	90	75	55
CE	52.5	35	28
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>209</b>	<b>155.5</b>	<b>114.5</b>

**Fuente:** Los autores

El equipo de separación magnética que mayor puntaje genera es el magneto suspendido con 209 puntos.

#### **Conclusiones del capítulo**

Con el análisis realizado en el presente capítulo, se han obtenido las características de todas las tecnologías existen en la actualidad para poder obtener polvo de caucho a base de NFU, entendiendo de mejor manera el proceso de los sistemas, permitiéndonos a su vez realizar una selección adecuada de los mismos acorde a distintos parámetros de selección.

La elección más adecuada de los mejores equipos y sistemas en la obtención de polvo de caucho, se lo realizo utilizando el método de selección ponderada, el cual consiste en definir criterios objetivos a los cuales se les asigna un peso ponderado dependiendo de su importancia en la toma de decisiones por parte de cada uno de los evaluadores.

Los mejores equipos y sistemas para realizar el diseño de la línea de procesado obtenidos con el método de ponderación son los siguientes:

<b>PROCESO</b>	<b>Equipo/Sistema Seleccionado</b>
<b>Trituración primaria</b>	Triturador de dos ejes
<b>Trituración secundaria</b>	Triturador de cuatro ejes
<b>Separador magnético principal</b>	Magneto suspendido
<b>Molienda mecánica</b>	Molino mecánico a temperatura ambiente
<b>Separador magnético secundario</b>	Magneto suspendido

Dado que en la actualidad los molinos mecánicos tienen incorporado un sistema de aspiración de elementos textiles cuando a obtención de polvo de caucho se refiere, no se realizó el análisis con el método ponderado en los sistemas de aspiración de polvo, de igual manera dado que solo se necesita un cierto tamaño de polvo de caucho y este se consigue únicamente con las mallas propias del molino, tampoco se realizó una evaluación del sistema de separación de polvo de caucho.

## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO DE LA LINEA DE PROCESADO PARA LA OBTENCION DE POLVO DE CAUCHO A BASE DE NFU.**

#### **Introducción**

En el presente capítulo se realiza el diseño de la línea de procesado de NFU para la obtención de polvo de caucho, analizando y dimensionando los equipos acorde a la capacidad de procesado requerido. Se toma como punto de partida el análisis de la cantidad de polvo de caucho requerido como componente para cubrir con la demanda potencial como componente en la carpeta asfáltica de la provincia.

Se realiza los cálculos correspondientes y la selección adecuada de los distintos equipos presentes en el proceso, logrando que el diseño de la línea de procesado sea lo más económica y eficiente posible. Por último se realiza el layout completo de todo el proceso de obtención de polvo de caucho a base de NFU.

#### **3.1 Parámetros de diseño**

La ubicación más adecuada para la línea de procesado se sitúa en la ciudad de Cuenca, debido a que en esta se encuentra el mayor parque automotor de la provincia del Azuay, siendo el mayor centro de generación de NFU. El diseño de la línea de procesado se dimensionara para poder tratar desde el inicio 1.61Ton/h de polvo de caucho, operando cinco días a la semana, ocho horas diarias.

Es decir debe procesar al año unas 3 350 Ton. Lo que supone el 75,5% del volumen total de NFU generados en la provincia del Azuay según la estimación de la demanda potencial de polvo de caucho analizada en el capítulo 1, cubriendo de esta manera la modificación en la carpeta asfáltica de vías y carreteras en la misma provincia.

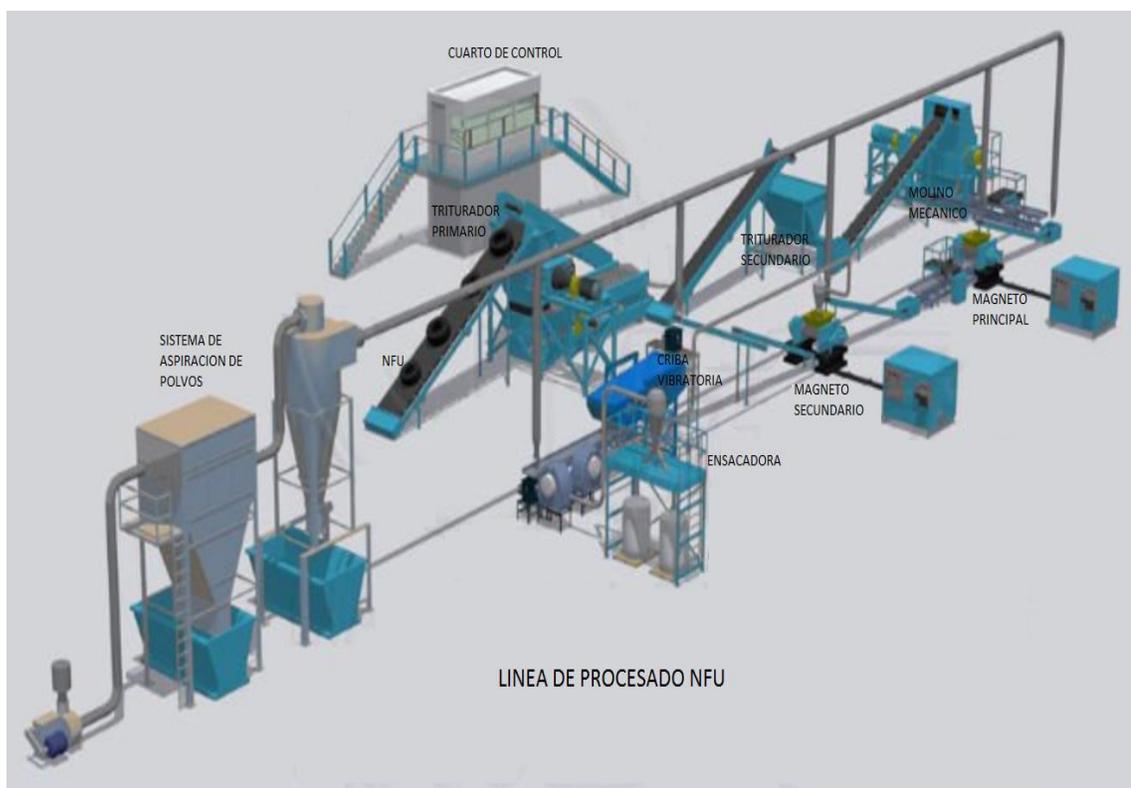
Cabe recalcar que la línea de procesado estará dotada de los equipos necesarios para tratar neumáticos de hasta un diámetro máximo de 1.4mts (diámetro de las llantas de transporte pesado). Por otro lado, adyacente a la obtención de polvo de caucho se obtendrá aproximadamente 370 Kg/h de material ferroso, y 71.2kg/h de material textil en el mejor de los casos. El tamaño de las partículas de polvo de caucho necesario para modificar las mezclas bituminosas asfálticas se estiman en tamaños no mayores a 0.85mm, por lo que la línea de procesado será diseñada considerando este parámetro.

### **3.2 Descripción de la línea de procesado**

El diseño de la línea de procesado para la obtención de polvo de caucho a base de NFU se realiza considerando la obtención de un solo tamaño límite de polvo de caucho [máximo 0.85mm], lo que hará innecesario un sistema de cribado al no tener una separación del producto final por tamaños, otro aspecto también importante a considerar es la aspiración de textiles, dado que en el mercado actual existen máquinas de molido mecánico que realizan directamente esta separación, se va a exceptuar lo que implica el sistema de aspiración de textiles (motor, ventilador, diseño de ductos, banda transportadora, etc) teniendo como etapas de diseño para la línea de procesado la siguiente mecánica.

- Recepción y almacenamiento de los NFU
- Triturado mecánico primario
- Triturado mecánico secundario
- Primera separación magnética
- Molido mecánico a temperatura ambiente
- Segunda separación magnética
- Almacenamiento de polvo

**Figura 3.1** Línea de procesado de NFU para la obtención de polvo de caucho



**Fuente:** Los autores

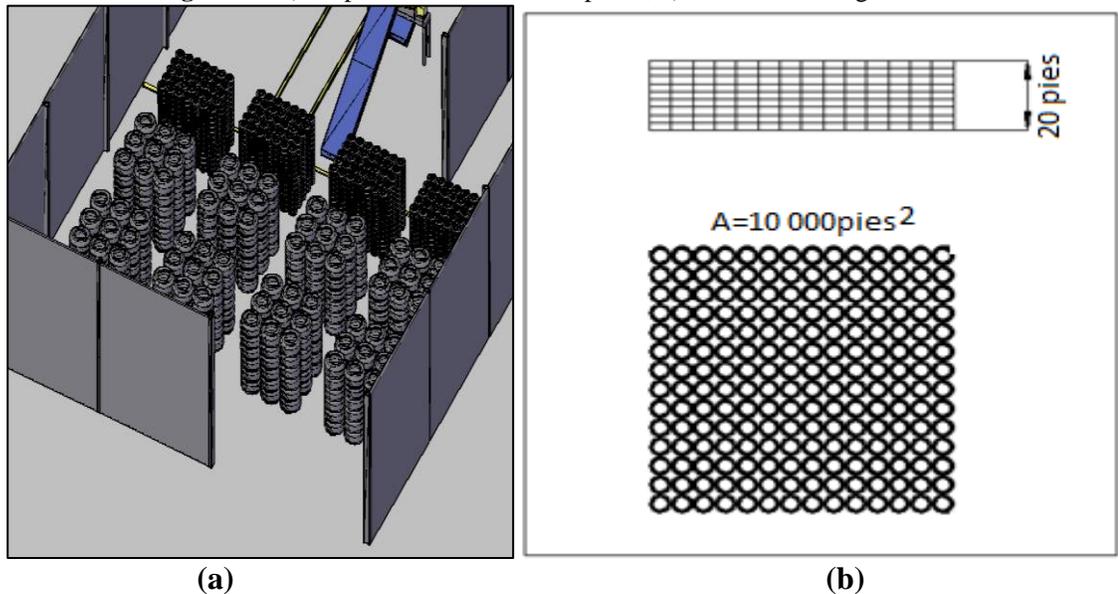
### 3.2.1 Recepción y almacenamiento de NFU

Los NFU receptados antes de ser almacenados para su posterior procesado recibirán una inspección previa, en la cual serán separados aquellos que presenten características adecuadas para el reencauchado, en cambio los neumáticos en mal estado serán almacenados cumpliendo con todas las normas tanto de seguridad como ambientales. Para el almacenaje de los neumáticos en los diferentes grupos debe tomarse en consideración el tamaño de los mismos, considerando que en almacenamiento de NFU “Los montículos de neumáticos desechados almacenados en instalaciones de procesamiento no podrán exceder de (20) pies de alto.

La base de estos montículos no tendrá un área de superficie mayor de diez mil (10 000) pies cuadrados y el ancho del montículo no excederá los cincuenta (50) pies. Tendrá una separación mínima de veinticinco (25) pies unos de otros y de cincuenta (50) pies de

separación de los límites de la propiedad, de cualquier acceso o edificación. El área de separación de veinticinco (25) pies entre montículos deberá mantenerse libre de obstrucciones, libre de vegetación en todo momento y en condición tal que cualquier vehículo de emergencia tenga acceso adecuado a la instalación”<sup>7</sup>

**Figura 3.2** a) Disposición de la materia prima, b) Dimensiones según norma



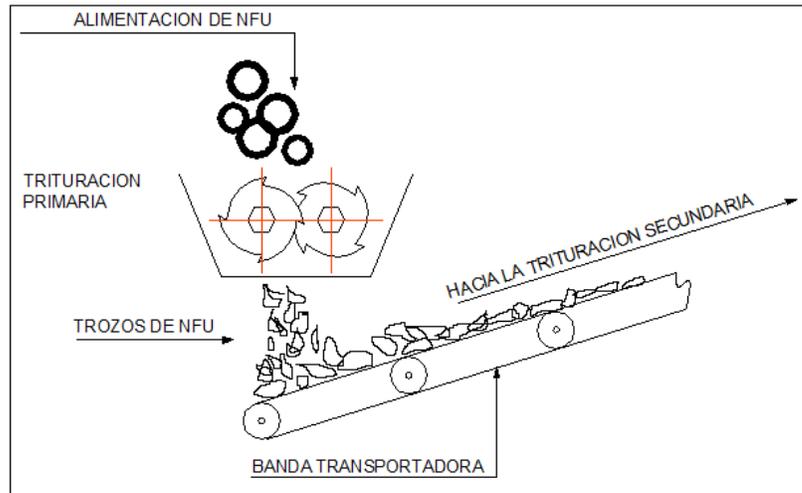
**Fuente:** Elaborado por los autores

### 3.2.2 Trituración mecánica primaria

Los NFU almacenados, mediante una banda transportadora serán conducidos a la primera máquina de trituración, donde serán sometidos a un primer triturado, en el cual se reducirán a pedazos entre 2” y 6” [50.8 y 152.4mm], mediante un triturador de rotación inversa de dos ejes paralelos.

<sup>7</sup> Junta de calidad ambiental “Reglamento para el manejo adecuado de neumáticos”, Junta de Gobierno de Costa Rica, septiembre 2011, p 31.

**Figura 3.3 Trituración primaria**

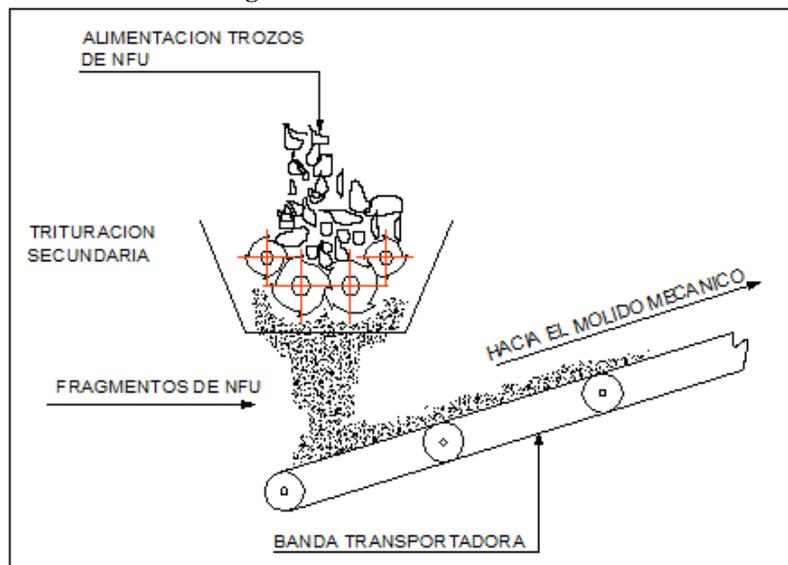


**Fuente:** Elaborado por los autores

### 3.2.3 Trituración mecánica secundaria

Los pedazos de neumáticos obtenidos del triturador primario serán conducidos por una banda de extracción hacia la tolva de alimentación del triturador secundario, el mismo que tendrá la misión de disminuir los tamaños del caucho a troços comprendidos entre 5/8" y 1/4" [15.9 y 6.3mm] con la finalidad de despojar aproximadamente el 95% de acero del caucho, preparándolos para la fase de molienda mecánica.

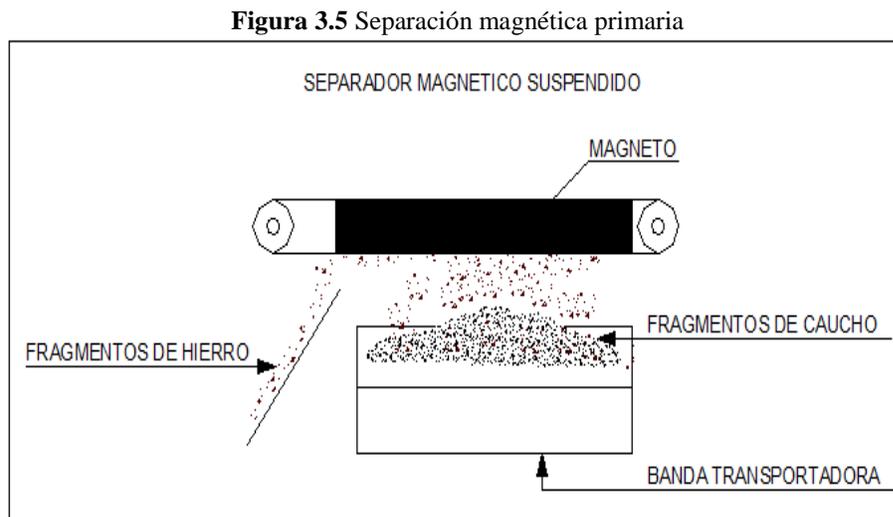
**Figura 3.4 Trituración secundaria**



**Fuente:** Elaborado por los autores

### 3.2.4 Primera separación magnética

El producto que se obtiene del triturador secundario mediante una cinta transportadora será llevado por debajo de un magneto suspendido hacia la molienda mecánica, este magneto realizara una primera separación del acero (95%), este proceso se realiza anterior a la alimentación del equipo de molienda, puesto que el acero es el mayor enemigo de sus cuchillas.

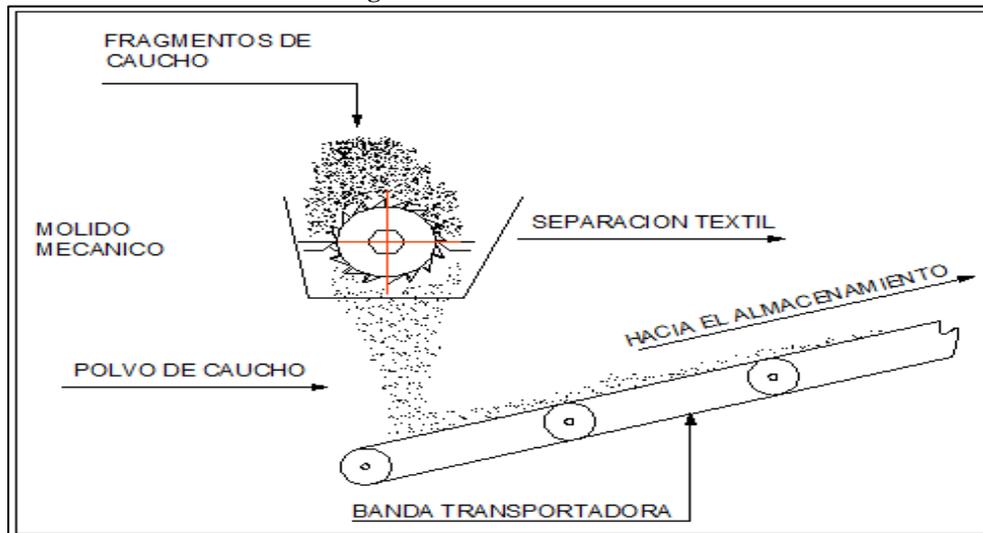


**Fuente:** Elaborado por los autores

### 3.2.5 Molido mecánico

En este punto los pequeños pedazos de caucho deben sufrir una reducción de tamaño, los cuales estarán en un valor inferior o igual a 0.85mm dado que es el tamaño correcto para mezclarlo con los áridos en la carpeta asfáltica, hoy en día los molinos mas modernos tienen incorporado un sistema de aspiración para los elementos textiles, por lo tanto en esta etapa también se producirá la separación de fibra.

**Figura 3.6** Molido mecánico

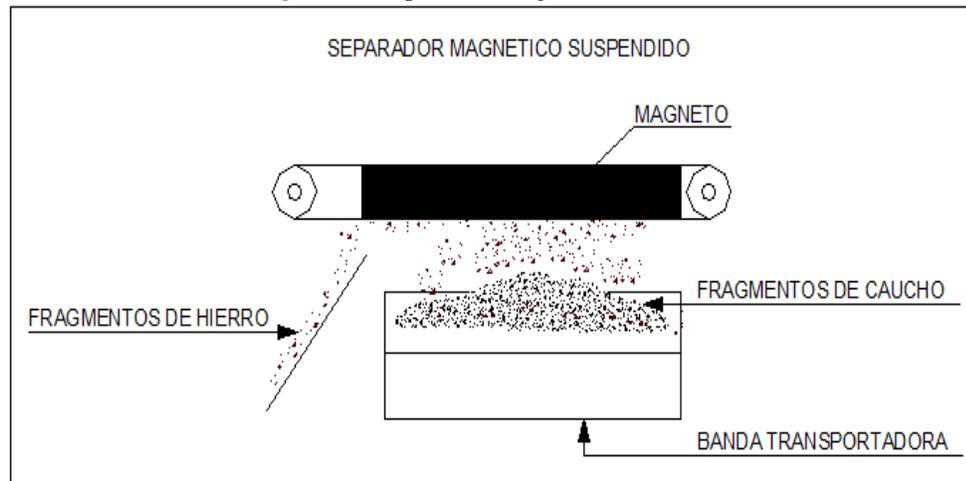


Fuente: Elaborado por los autores

### 3.2.6 Segunda separación magnética

El material resultante del molido mecánico contiene polvo de caucho con el remanente de material ferroso, por lo tanto nuevamente es necesario con la ayuda de una cinta transportadora llevar el producto por debajo de un segundo magneto, donde se realizara la separación total del material ferroso.

**Figura 3.7** Separación magnética secundaria

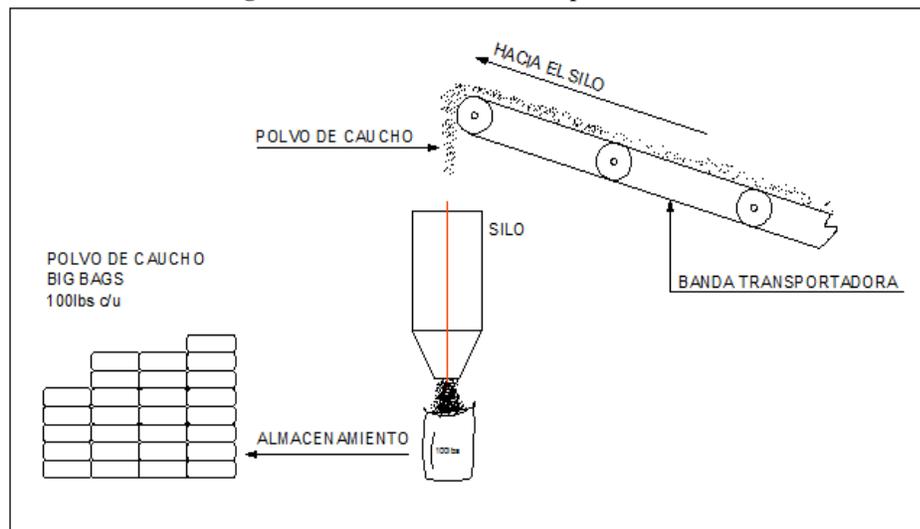


Fuente: Elaborado por los autores

### 3.2.7 Almacenado del producto

El producto obtenido se acondicionara a granel, mediante la banda transportadora se llevará el material y se lo almacenaran en sacos mediante pesaje para luego ser despachados con la ayuda de un camión. Además del producto obtenido, en el proceso de reciclado se obtendrá acero el cuales será almacenado en contenedores, remplazándolos cada vez que estos sean llenados.

**Figura 3.8** Almacenamiento del producto final



**Fuente:** Elaborado por los autores

### 3.3 Capacidades de equipos requeridos

La línea de procesado será diseñada para obtener 1.61Ton/h de polvo de caucho a base de NFU, con lo que el primer triturador tendrá que procesar a parte de este material el acero y el textil que conforma el NFU entero. Por lo tanto la capacidad necesaria del primer triturador será;  $1.61\text{Ton/h} + 0.37\text{Ton/h} + 0.0712\text{Ton/h} = 2.05 \text{ Ton/h}$ . De igual manera para la segunda trituración, debido a que el material permanece aun con todo sus componentes la capacidad será de 2.05 Ton/h. El triturador secundario además de trocear los pedazos de NFU, desprende el 95% del acero, cantidad que será extraída por el primer magneto, teniendo como capacidad para el mismo  $0.95 \cdot (0.37\text{Ton/h}) = 0.3515\text{Ton/h}$ .

Para la molienda mecánica la capacidad será de 1.70Ton/h, en el cual se extraerá el 100% del material textil, luego el remanente de acero se extraerá con un segundo separador magnético cuya capacidad será de 0.0185Ton/h, dejando el polvo de caucho completamente limpio, en una cantidad de 1.61Ton/h

**Tabla 3.1** Capacidades de equipos / sistemas requeridos para obtención de polvo de caucho

ETAPA	EQUIPO / SISTEMA	CAP. REQUERIDA
Alimentación al triturador primario	Cinta transportadora	2.05Ton/h
Trituración primaria	Triturador (2 ejes)	2.05Ton/h
Extracción del triturador primario	Cinta transportadora	2.05 Ton/h
Trituración secundaria	Triturador (4 ejes)	2.05Ton/h
Extracción del triturado secundario	Cinta transportadora	2.05 Ton/h
Separación magnética primaria	Magneto suspendido	351.5Kg/h
Molienda mecánica	Molino de rodillo tipo cracker	1.7Ton/h
Extracción del molino mecánico	Cinta transportadora	1.7 Ton/h
Separación magnética secundaria	Magneto suspendido	18.5Kg/h
Envasado del producto	Báscula - ensacadora saco abierto	Big-Bags de 500 a 2000 Kg

**Fuente:** Elaborado por los autores

### 3.4 Selección de Equipos

Una vez analizadas todas las capacidades se procederá a seleccionar la mejor opción entre los diferentes equipos y sistemas para la obtención de polvo de caucho a base de NFU, luego se realizara la búsqueda comercial de los mismos. Cabe mencionar que la instalación por la que se ha optado, consiste en una única línea de procesado y las maquinas estarán dispuestas en forma consecutiva.

### 3.4.1 Cinta transportadora de carga al triturador primario

Dado que esta cinta transportadora es la que conducirá a los NFU enteros al triturador primario, para el análisis y selección se considerara en base al neumático mas critico, es decir al de mayor peso (llantas de camión) siendo su peso de 52.5Kg en una longitud máxima de 1.4m.

#### 3.4.1.1 Velocidad de la cinta

Como datos iniciales tenemos la necesidad de procesado que es 2.3 toneladas por hora.

$$2.3 \frac{Ton}{h} = 38.3 \frac{Kg}{min}$$
$$38.3Kg = 0.73 Neumaticos \therefore 0.73 \frac{Neumaticos}{min}$$

Relacionando el largo del neumático entero (1.4m) en la banda tendremos  $1.022 \frac{m}{min}$ , al cual por motivos de eficiencia le sumaremos un 30% obteniendo de esta manera:

$$Velocidad\ necesaria\ 1.33 \frac{m}{min}$$

#### 3.4.1.2 Peso del material transportado por metro lineal $q_G$ [Kg/m]

$$\frac{52.5Kg}{neumatico} = \frac{52.5Kg}{1.4m} \quad q_G = 38 \frac{Kg}{m}$$

#### 3.4.1.3 Esfuerzo tangencial total

El esfuerzo tangencial total tiene que vencer todas las resistencias que se oponen al movimiento y está constituido por la suma de los esfuerzos necesarios para mover la banda de descarga, el esfuerzo necesario para vencer las resistencias que se oponen al desplazamiento del material, el esfuerzo necesario para elevar el material hasta la cota

deseada, y los esfuerzos necesarios para vencer las resistencias secundarias debidas a la presencia de accesorios.

El esfuerzo tangencial total  $F_{\mu}$  en la periferia del tambor motriz vendrá dado por:

$$F_{\mu} = [L \cdot Cq \cdot Ct \cdot f \cdot (2 \cdot q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO}) + (q_G \cdot H)] \cdot 0.981 \text{ [daN]} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

En donde "L" es la distancia entre ejes del transportador [m], "Cq" es el coeficiente de resistencias fijas (accesorios de la banda), "Ct" es el coeficiente de resistencias pasivas, "f" es el coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias, "q<sub>b</sub>" es el peso de la banda por metro lineal  $\left[\frac{Kg}{m}\right]$ , "q<sub>G</sub>" es el peso del material transportado por metro lineal  $\left[\frac{Kg}{m}\right]$ , "q<sub>RU</sub>" es el peso de las partes inferiores en  $\left[\frac{Kg}{m}\right]$ , "q<sub>RO</sub>" es el peso de las partes giratorias superiores en  $\left[\frac{Kg}{m}\right]$ , y "H" es el desnivel de la cinta transportadora.

- **Determinación del desnivel de la cinta transportadora (H)**

El desnivel de la cinta transportadora esta en relación con la altura del triturador primario (2670mm) mas el espesor de la propia cinta, por lo tanto para el cálculo el desnivel estimado será de 3 000mm.

- **Longitud de la cinta**

La longitud de la cinta toma como consideración el ángulo de inclinación, que para un correcto desempeño no debe exceder de los 20°, por lo tanto:

$$L = \frac{H}{\text{sen } 20^{\circ}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$L = \frac{3m}{\text{sen } 20^{\circ}}$$

$$L = 8.77m$$

- **Coeficiente de resistencias fijas (accesorios de la banda) "Cq"**

**Tabla 3.2** Coeficiente de las resistencias fijas

Distancia entre ejes m	Cq
10	4.5
20	3.2
30	2.6
40	2.2
50	2.1
60	2.0
80	1.8
100	1.7
150	1.5
200	1.4
250	1.3
300	1.2
400	1.1
500	1.05
1000	1.03

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- **Coeficiente de resistencias pasivas "Ct"**

**Tabla 3.3** Coeficiente de las resistencias pasivas

Temperatura °C	+ 20°	+ 10°	0	- 10°	- 20°	- 30°
Factor Ct	1	1,01	1,04	1,10	1,16	1,27

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- **Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias "f"**

**Tabla 3.4** Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias

Cintas transportadoras horizontales, ascendentes o ligeramente descendentes	velocidad m/s					
	1	2	3	4	5	6
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores estándares	0,0160	0,0165	0,0170	0,0180	0,0200	0,0220
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores altos en condiciones de trabajo difíciles	desde 0,023 hasta 0,027					
Elementos giratorios de cintas transportadoras descendentes con motor freno y/o generador	desde 0,012 hasta 0,016					

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- **Peso de la banda por metro lineal " $q_b$ "**

El peso total de la banda " $q_b$ " se determina sumando el peso del núcleo de la banda y el revestimiento superior e inferior (aproximadamente  $1.15 \frac{Kg}{m^2}$  por cada milímetro de espesor del revestimiento)

**Tabla 3.5** Peso de la banda por metro lineal

Carga de rotura de la banda N/mm	Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m	Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m
200	2.0	-
250	2.4	-
315	3.0	-
400	3.4	-
500	4.6	5.5
630	5.4	6.0
800	6.6	8.5
1000	7.6	9.5
1250	9.3	10.4
1600	-	13.5
2000	-	14.8
2500	-	18.6
3150	-	23.4

Los pesos del núcleo de la banda reforzadas con productos textiles o metálicos se dan a título indicativo en relación con la clase de resistencia.

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$q_b = 2 \frac{Kg}{m} + \left( 2 \cdot 1.15 \frac{Kg}{m} \right)$$

**Ecuación 3.3**

$$q_b = 2 \frac{Kg}{m} + \left( 2 \cdot 1.15 \frac{Kg}{m} \right)$$

$$q_b = 4.6 \frac{Kg}{m}$$

- **Peso de las partes giratorias inferiores " $q_{RU}$ " y superiores " $q_{RO}$ "**

El peso de las partes giratorias superior e inferior viene dado por:

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u} \left[ \frac{Kg}{m} \right] \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o} \left[ \frac{Kg}{m} \right] \quad \text{Ecuación 3.5}$$

En donde " $a_u$ " es el paso de estaciones de retorno, " $a_o$ " es el paso de estaciones de ida, " $P_{pri}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones inferiores y " $P_{prs}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores.

**Tabla 3.6** Pasos de estaciones de ida y retorno

Ancho banda m	Paso de las estaciones			retorno m
	ida < 1.2 m	peso específico del material a transportar t/m <sup>3</sup> 1.2 ÷ 2.0 m	> 2.0 m	
300	1.65	1.50	1.40	3.0
400				
500				
650				
800	1.50	1.35	1.25	3.0
1000	1.35	1.20	1.10	3.0
1200	1.20	1.00	0.80	3.0
1400				
1600				
1800				
2000	1.00	0.80	0.70	3.0
2200				

**Fuente:** Catalogo Técnico RULMECA

**Tabla 3.7** Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores

Ancho banda mm	Diámetro rodillos mm									
	89		108		133		159		194	
	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri
Kg										
400	—	—	—							
500	5.1	3.7	—							
650	9.1	6.5	—							
800	10.4	7.8	16.0	11.4	—					
1000	11.7	9.1	17.8	13.3	23.5	17.5				
1200			20.3	15.7	26.7	20.7	—			
1400					29.2	23.2	—			
1600					31.8	25.8	—			
1800							47.2	38.7	70.5	55.5
2000							50.8	42.2	75.3	60.1
2200							—	—	—	—

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u}$$

$$q_{RU} = \frac{25.8Kg}{3m}$$

$$q_{RU} = 8.6 \frac{Kg}{m}$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o}$$

$$q_{RO} = \frac{31.8Kg}{1.2m} = 26.5 \frac{Kg}{m}$$

$$q_{RO} = 26.5 \frac{Kg}{m}$$

### Esfuerzo tangencial total

$$F_{\mu} = [L \cdot Cq \cdot Ct \cdot f \cdot (2 \cdot q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO}) + (q_G \cdot H)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = [10 \cdot 4.5 \cdot 1 \cdot 0.0163 \cdot (2 \cdot 4.3 + 38 + 26.5 + 8.6) + (38 \cdot 3)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = 170.622daN$$

### 3.4.1.4 Potencia motriz

Conocidos el esfuerzo tangencial total en la periferia del tambor motriz, la velocidad de la banda y el rendimiento " $\eta$ " del reductor, la potencia mínima necesaria del motor vendrá dada por:

$$P = \frac{F_u \cdot v}{100 \cdot \eta}$$

Ecuación 3.6

$$P = \frac{170.622 \text{ daN} \cdot 1.33 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{100 \cdot 0.8}$$

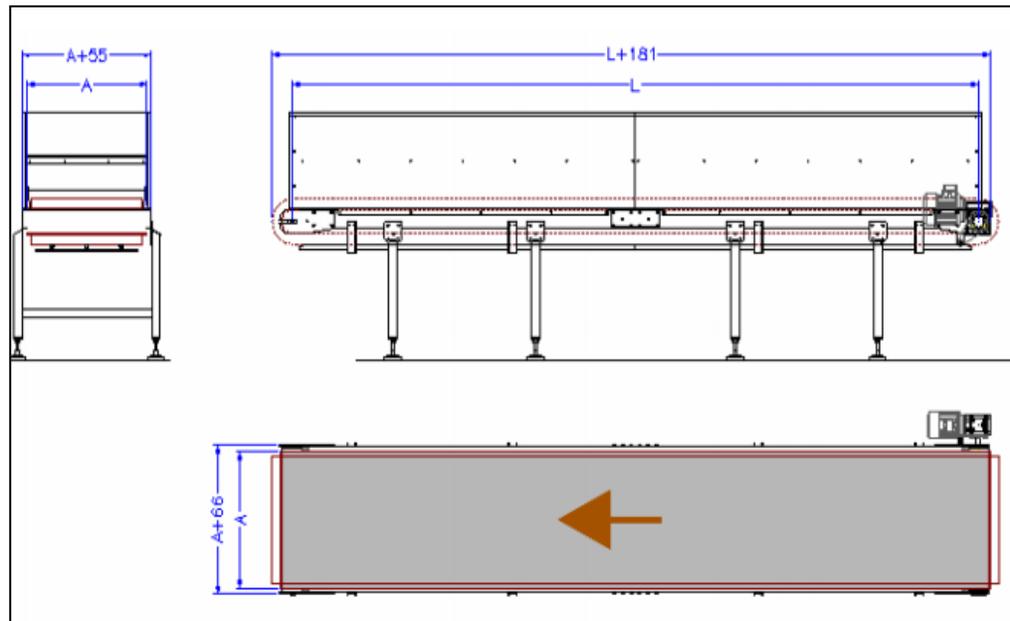
$$P = 2.836 \text{ kw}$$

### 3.4.1.5 Selección comercial de la banda transportadora

Figura 3.9 a) Cinta Transportadora, b) Vistas de la cinta



(a)



(b)

Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

- **Características técnicas**

**Tabla 3.8** Características técnicas de la Banda transportadora

Fabricante	Maskepack
Modelo	TBK – 10
Longitud entre centros de tambores	1 000 a 20 000 mm
Ancho de banda	500 a 1 500 mm
Diámetro de tambor motriz	100 mm
Diámetro de tambor tensor	100 mm
Velocidad	5 a 100 metros/minuto
Motorización	Extrema (en posición vertical u horizontal)
Bastidor	Hierro – Inox – Aluminio
Guías laterales	Fijas o regulables

Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

### 3.4.2 Selección del triturador primario

**Figura 3.10** Triturador modelo 6340



Fuente: [globalrecyclingequipment](http://globalrecyclingequipment.com)

**Tabla 3.9** Características técnicas del triturador primario

Fabricante	Global recycling equipment
Modelo	6340
Producto	Llantas de automóvil y camión
Capacidad	2Ton/h
Tolva	Chapa plegada empernada 2000 x 1500 x 1100mm
Dimensiones generales L x W x H	4020 x 2240 x 2670mm
Cámara de corte L x W	1600 x 940mm
Tamaño de corte estándar	2"
Cantidad de hojas	32
Distancia entre centros	400mm
Potencia	2 x 45kw
RPM	11
Motor	Industrial trifásico 1750rpm

Fuente: globalrecyclingequipment

### 3.4.3 Cinta de extracción y elevación al triturador secundario

Velocidad de la cinta

$$q_G = \frac{Iv}{3.6 \cdot v}$$

Donde " $q_G$ " es el peso del material por metro lineal, " $Iv$ " es la capacidad de transporte de la banda en Ton/h, y " $v$ " es la velocidad de la banda en m/s.

**Tabla 3.10** Coeficiente de las resistencias pasivas

Tamaño dimensiones máximas		Banda ancho mín mm	velocidad max			
uniforme hasta mm	mixto hasta mm		A m/s	B	C	D
50	100	400	2.5	2.3	2	1.65
75	150	500	3	2.75	2.38	2
125	200	650	3.5	3.2	2.75	2.35
170	300	800	4	3.65	3.15	2.65
250	400	1000	4.5	4	3.5	3
350	500	1200	5	4.5	3.5	3
400	600	1400	6	5	4.5	4
450	650	1600				
500	700	1800				
550	750	2000				
600	800	2200				

A – materiales ligeros deslizables, no abrasivos, peso específico de 0,5 – 1 t/m<sup>3</sup>  
 B – materiales no abrasivos de tamaño medio, peso específico de 1 – 1,5 t/m<sup>3</sup>  
 C – materiales medianamente abrasivos y pesados, peso específico de 1,5 – 2 t/m<sup>3</sup>  
 D – materiales abrasivos, pesados y cortantes, peso específico > 2 t/m<sup>3</sup>

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Peso del material por metro lineal

$$q_G = \frac{2.3 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}}{3.6 \cdot 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$q_G = 0.182 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

- Capacidad de transporte volumétrico

$$I_M = \frac{Iv}{qs} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

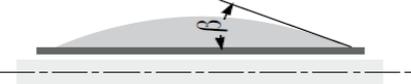
Donde "Iv" es la capacidad de transporte de la banda en t/h, "qs" es el peso específico del material.

$$I_M = \frac{2.3 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}}{0.84 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}}$$

$$I_M = 2.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Capacidad de transporte volumétrico, a una velocidad de un metro por segundo.

**Tabla 3.11** Capacidad de transporte volumétricas



**Capacidades de transporte volumétricas**  
con estaciones planas para  $v = 1 \text{ m/s}$

Ancho banda mm	Ángulo de sobrecarga $\beta$	IvT m <sup>3</sup> /h $\lambda = 0^\circ$	Ancho banda mm	Ángulo de sobrecarga $\beta$	IvT m <sup>3</sup> /h $\lambda = 0^\circ$
300	5°	3.6	1600	5°	152.6
	10°	7.5		10°	305.6
	20°	15.4		20°	630.7
	25°	20.1		25°	807.1
	30°	25.2		30°	1008.7
400	5°	7.5	1800	5°	194.7
	10°	15.1		10°	389.8
	20°	31.3		20°	804.9
	25°	39.9		25°	1029.9
	30°	50.0		30°	1287.0
500	5°	12.6	2000	5°	241.9
	10°	25.2		10°	484.2
	20°	52.2		20°	1000.0
	25°	66.6		25°	1279.4
	30°	83.5		30°	1599.1

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$I_{VT} = \frac{I_M}{v} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$I_{VT} = 83.5 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$q_G = \frac{Iv}{3.6 \cdot v}$$

$$q_G = \frac{83.5}{3.6 \cdot 1}$$

$$q_G = 23.19 \text{ kg/m}$$

Esfuerzo tangencial total

$$F_\mu = [L \cdot Cq \cdot Ct \cdot f \cdot (2 \cdot q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO}) + (q_G \cdot H)] \cdot 0.981 \text{ [daN]}$$

Desnivel de la cinta transportadora (H)

$$H = 3205\text{mm} + 300\text{mm}$$

$$H = 3505\text{mm}$$

Longitud de la cinta

La longitud de la cinta toma como consideración el ángulo de inclinación, que para un correcto desempeño no debe exceder de los 20°, por lo tanto:

$$L = \frac{3.505\text{m}}{\text{sen } 20^\circ}$$

$$L = 10.24\text{m}$$

Coefficiente de resistencias fijas (accesorios de la banda) " $Cq$ "

**Tabla 3.12** Coeficiente de las resistencias fijas

Distancia entre ejes m	$Cq$
10	4.5
20	3.2
30	2.6
40	2.2
50	2.1
60	2.0
80	1.8
100	1.7
150	1.5
200	1.4
250	1.3
300	1.2
400	1.1
500	1.05
1000	1.03

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

Coefficiente de resistencias pasivas " $Ct$ "

**Tabla 3.13** Coeficiente de las resistencias pasivas

Temperatura °C	+20°	+10°	0	-10°	-20°	-30°
Factor $Ct$	1	1,01	1,04	1,10	1,16	1,27

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

Coefficiente de rozamiento interior de las partes giratorias " $f$ "

**Tabla 3.14** Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias

Cintas transportadoras horizontales, ascendentes o ligeramente descendentes	velocidad m/s					
	1	2	3	4	5	6
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores estándares	0,0160	0,0165	0,0170	0,0180	0,0200	0,0220
Elementos giratorios y mate- rial con rozamientos interiores altos en condiciones de trabajo difíciles	desde 0,023 hasta 0,027					
Elementos giratorios de cintas transportadoras descendentes con motor freno y/o generador	desde 0,012 hasta 0,016					

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

Peso de la banda por metro lineal " $q_b$ "

El peso total de la banda " $q_b$ " se determina sumando el peso del núcleo de la banda y el revestimiento superior e inferior (aproximadamente  $1.15 \frac{Kg}{m^2}$  por cada milímetro de espesor del revestimiento)

**Tabla 3.15** Peso de la banda por metro lineal

Carga de rotura de la banda N/mm	Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m	Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m
200	2.0	-
250	2.4	-
315	3.0	-
400	3.4	-
500	4.6	5.5
630	5.4	6.0
800	6.6	8.5
1000	7.6	9.5
1250	9.3	10.4
1600	-	13.5
2000	-	14.8
2500	-	18.6
3150	-	23.4

**Fuente:** Catalogo Técnico RULMECA

$$q_b = 2.4 \frac{Kg}{m} + \left( 2 \cdot 1.15 \frac{Kg}{m} \right)$$

$$q_b = 4.7 \frac{Kg}{m}$$

Peso de las partes giratorias inferiores " $q_{RU}$ " y superiores " $q_{RO}$ "

El peso de las partes giratorias superior e inferior viene dado por:

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u} \left[ \frac{Kg}{m} \right]$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o} \left[ \frac{Kg}{m} \right]$$

En donde " $a_u$ " es el paso de estaciones de retorno, " $a_o$ " es el paso de estaciones de ida, " $P_{pri}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones inferiores y " $P_{prs}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores.

**Tabla 3.16** Pasos de estaciones de ida y retorno

Ancho banda m	Paso de las estaciones ida peso específico del material a transportar t/m³			retorno m
	< 1.2 m	1.2 ÷ 2.0 m	> 2.0 m	
300	1.65	1.50	1.40	3.0
400				
500				
650				
800	1.50	1.35	1.25	3.0
1000	1.35	1.20	1.10	3.0
1200	1.20	1.00	0.80	3.0
1400				
1600				
1800				
2000	1.00	0.80	0.70	3.0
2200				

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

**Tabla 3.17** Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores

Ancho banda mm	Diámetro rodillos mm									
	89		108		133		159		194	
	Pprs Kg	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri
400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	5.1	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—
650	9.1	6.5	—	—	—	—	—	—	—	—
800	10.4	7.8	16.0	11.4	—	—	—	—	—	—
1000	11.7	9.1	17.8	13.3	23.5	17.5	—	—	—	—
1200			20.3	15.7	26.7	20.7	—	—	—	—
1400					29.2	23.2	—	—	—	—
1600					31.8	25.8	—	—	—	—
1800							47.2	38.7	70.5	55.5
2000							50.8	42.2	75.3	60.1
2200							—	—	—	—

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u}$$

$$q_{RU} = \frac{15.7Kg}{3m} = 5.23 \frac{Kg}{m}$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o}$$

$$q_{RO} = \frac{20.3Kg}{1.2m} = 16.92 \frac{Kg}{m}$$

- **Esfuerzo tangencial total**

$$F_{\mu} = [L \cdot Cq \cdot Ct \cdot f \cdot (2 \cdot q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO}) + (q_G \cdot H)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = [10,24 \cdot 4,5 \cdot 1 \cdot 0,01675 \cdot (2 \cdot 4,7 + 23,19 + 5,23 + 16,92) + (23,19 \cdot 3,505)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = 121.18 \text{ daN}$$

- **Potencia motriz**

Conocidos el esfuerzo tangencial total en la periferia del tambor motriz, la velocidad de la banda y el rendimiento " $\eta$ " del reductor, la potencia mínima necesaria del motor vendrá dada por:

$$P = \frac{F_u \cdot v}{100 \cdot \eta}$$

$$P = \frac{121.18 \text{ daN} \cdot 2.5 \frac{m}{min}}{100 \cdot 0.8}$$

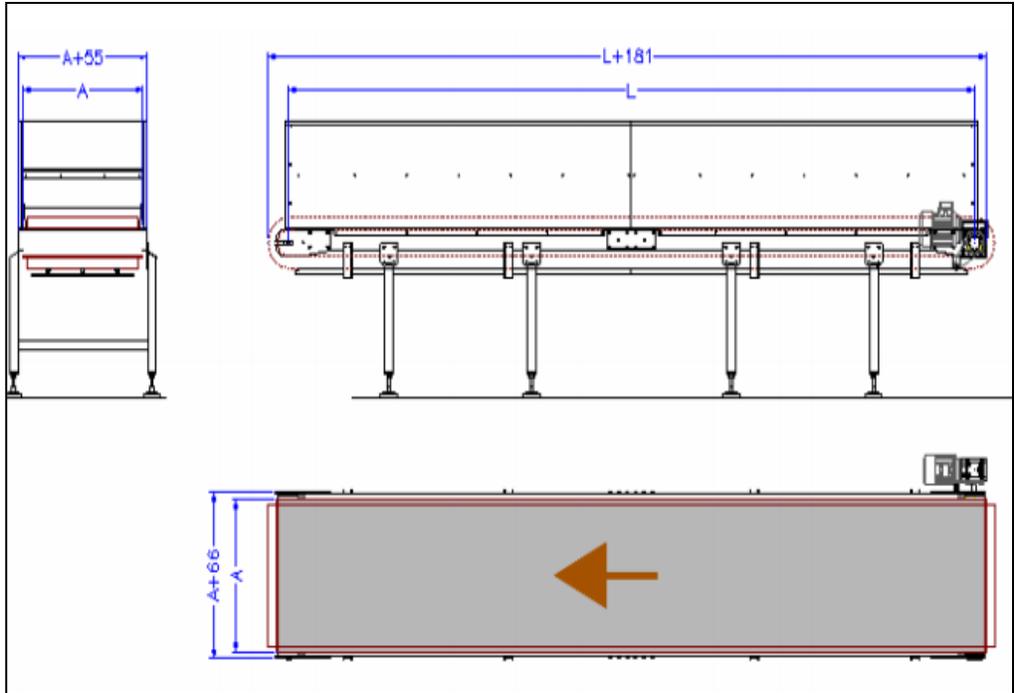
$$P = 3.78kw$$

### 3.4.3.1 Selección comercial de extracción y elevación al triturador secundario

**Figura 3.11** a) Cinta Transportadora, b) vistas de la cinta



**(a)**



(b)

Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

**Tabla 3.18** Características técnicas de la Banda transportadora

Fabricante	Maskepack
Modelo	TBK – 10
Longitud entre centros de tambores	1 000 a 20 000 mm
Ancho de banda	500 a 1 500 mm
Diámetro de tambor motriz	100 mm
Diámetro de tambor tensor	100 mm
Velocidad	5 a 100 metros/minuto
Motorización	Extrema (en posición vertical u horizontal)
Bastidor	Hierro – Inox – Aluminio
Guías laterales	Fijas o regulables

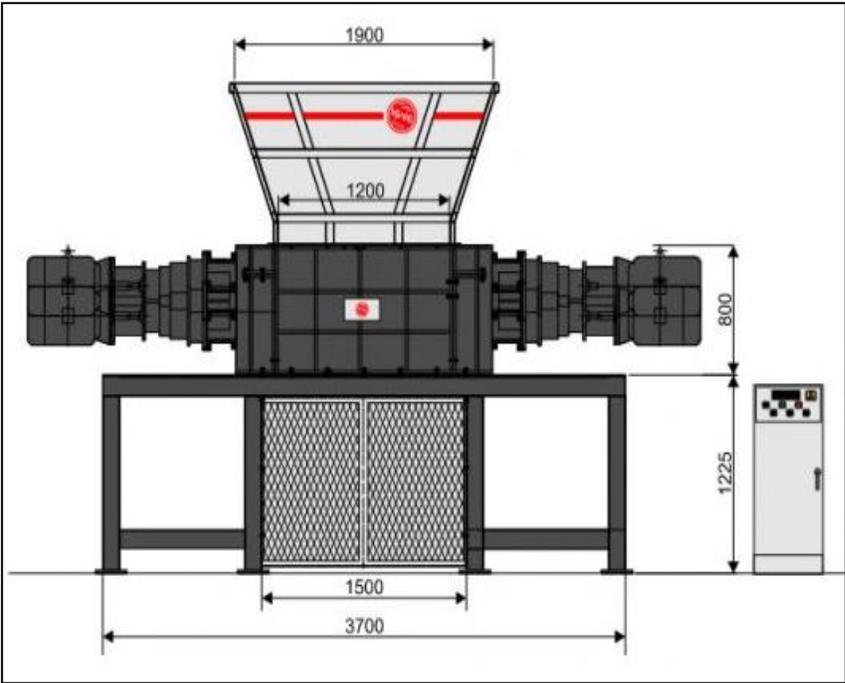
Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

**3.4.4 Selección del triturador secundario**

**Figura 3.12** a) Triturador modelo 120130S-MAX, b) Esquema del triturador



**(a)**



**(b)**

**Fuente:** [www.tritotutto.com](http://www.tritotutto.com)

**Tabla 3.19:** Características técnicas del triturador secundario

Fabricante	Tritotutto
Modelo	120/130S-MAX
Producto	Neumáticos
Transmisión	Por engranajes
Tolva	Reforzada de chapa soldada 1 900 x 1 200mm
Dimensiones generales L x W x H	4 738 x 1 200 x 3 205mm
Cámara de corte L x W	1 200 x 1 300mm
Número de ejes fresantes	2
Numero de fresas templadas	30 (espesores 40 – 50 – 60mm)
Numero de ejes de introducción	2
Numero de discos de introducción	30 (espesor 40mm a 4 picos)
Producción	2 - 4Ton/h
Potencia total instalada	90kw / 104kw (central hidráulica)
RPM	18
Motor	Siemens 15 / 30 o37kw (ejes introducción / fresas)

Fuente: www.tritotutto.com

### 3.4.5 Cinta de extracción y elevación al molino mecánico

Velocidad de la cinta

$$q_G = \frac{Iv}{3.6 \cdot v}$$

Donde " $q_G$ " es el peso del material por metro lineal, " $Iv$ " es la capacidad de transporte de la banda en Ton/h, y " $v$ " es la velocidad de la banda en m/s.

**Tabla 3.20** Coeficiente de las resistencias pasivas

Tamaño dimensiones máximas		Banda ancho mín mm	velocidad max			
uniforme hasta mm	mixto hasta mm		A m/s	B	C	D
50	100	400	2.5	2.3	2	1.65
75	150	500				
125	200	650	3	2.75	2.38	2
170	300	800	3.5	3.2	2.75	2.35
250	400	1000	4	3.65	3.15	2.65
350	500	1200				
400	600	1400	4.5	4	3.5	3
450	650	1600				
500	700	1800	5	4.5	3.5	3
550	750	2000				
600	800	2200	6	5	4.5	4

A – materiales ligeros deslizables, no abrasivos, peso específico de 0,5 – 1 t/m<sup>3</sup>  
 B – materiales no abrasivos de tamaño medio, peso específico de 1 – 1,5 t/m<sup>3</sup>  
 C – materiales medianamente abrasivos y pesados, peso específico de 1,5 – 2 t/m<sup>3</sup>  
 D – materiales abrasivos, pesados y cortantes, peso específico > 2 t/m<sup>3</sup>

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Peso del material por metro lineal

$$q_G = \frac{2 \frac{\text{Ton}}{h}}{3.6 \cdot 2.5 \frac{m}{s}} = 0.062 \frac{\text{Kg}}{m}$$

- Capacidad de transporte volumétrico

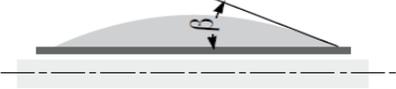
$$I_M = \frac{Iv}{qs} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Donde "Iv" es la capacidad de transporte de la banda en t/h, "qs" es el peso específico del material.

$$I_M = \frac{2 \frac{\text{Ton}}{h}}{0.84 \frac{\text{Ton}}{m^3}} = 2.38 \frac{m^3}{h}$$

- Capacidad de transporte volumétrico, a una velocidad de un metro por segundo.

**Tabla 3.21** Capacidad de transporte volumétricas



**Capacidades de transporte volumétricas**  
con estaciones planas para  $v = 1 \text{ m/s}$

Ancho banda mm	Ángulo de sobrecarga $\beta$	$I_{VT} \text{ m}^3/\text{h}$ $\lambda = 0^\circ$	Ancho banda mm	Ángulo de sobrecarga $\beta$	$I_{VT} \text{ m}^3/\text{h}$ $\lambda = 0^\circ$
300	5°	3.6	1600	5°	152.6
	10°	7.5		10°	305.6
	20°	15.4		20°	630.7
	25°	20.1		25°	807.1
	30°	25.2		30°	1008.7
400	5°	7.5	1800	5°	194.7
	10°	15.1		10°	389.8
	20°	31.3		20°	804.9
	25°	39.9		25°	1029.9
	30°	50.0		30°	1287.0

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$I_{VT} = \frac{I_M}{v} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$I_{VT} = 50.0 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$q_G = \frac{Iv}{3.6 \cdot v}$$

$$q_G = \frac{50.0}{3.6 \cdot 1}$$

$$q_G = 13.88 \text{ kg/m}$$

- Desnivel de la cinta transportadora (H)

$$H = 4\,035\text{mm} + 300\text{mm}$$

$$H = 4\,335\text{mm}$$

- Longitud de la cinta

$$L = \frac{4.335\text{m}}{\text{sen } 20^\circ} = 12.67\text{m}$$

- Coeficiente de resistencias fijas (accesorios de la banda) "Cq"

**Tabla 3.22** Coeficiente de las resistencias fijas

Distancia entre ejes m	Cq
10	4.5
20	3.2
30	2.6
40	2.2
50	2.1
60	2.0
80	1.8
100	1.7
150	1.5
200	1.4
250	1.3
300	1.2
400	1.1
500	1.05
1000	1.03

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Coeficiente de resistencias pasivas "Ct"

**Tabla 3.23** Coeficiente de las resistencias pasivas

Temperatura °C	+20°	+10°	0	-10°	-20°	-30°
Factor Ct	1	1,01	1,04	1,10	1,16	1,27

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias "f"

**Tabla 3.24** Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias

Cintas transportadoras horizontales, ascendentes o ligeramente descendentes	velocidad m/s					
	1	2	3	4	5	6
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores estándares	0,0160	0,0165	0,0170	0,0180	0,0200	0,0220
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores altos en condiciones de trabajo difíciles	desde 0,023 hasta 0,027					
Elementos giratorios de cintas transportadoras descendentes con motor freno y/o generador	desde 0,012 hasta 0,016					

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Peso de la banda por metro lineal "q<sub>b</sub>"

El peso total de la banda "q<sub>b</sub>" se determina sumando el peso del núcleo de la banda y el revestimiento superior e inferior (aproximadamente  $1.15 \frac{Kg}{m^2}$  por cada milímetro de espesor del revestimiento)

**Tabla 3.25** Peso de la banda por metro lineal

Carga de rotura de la banda N/mm	Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m	Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m
200	2.0	-
250	2.4	-
315	3.0	-
400	3.4	-
500	4.6	5.5
630	5.4	6.0
800	6.6	8.5
1000	7.6	9.5
1250	9.3	10.4
1600	-	13.5
2000	-	14.8
2500	-	18.6
3150	-	23.4

Los pesos del núcleo de la banda reforzadas con productos textiles o metálicos se dan a título indicativo en relación con la clase de resistencia.

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$q_b = 2.4 \frac{Kg}{m} + \left( 2 \cdot 1.15 \frac{Kg}{m} \right)$$

$$q_b = 4.7 \frac{Kg}{m}$$

Peso de las partes giratorias inferiores " $q_{RU}$ " y superiores " $q_{RO}$ "

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u} \left[ \frac{Kg}{m} \right]$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o} \left[ \frac{Kg}{m} \right]$$

En donde " $a_u$ " es el paso de estaciones de retorno, " $a_o$ " es el paso de estaciones de ida, " $P_{pri}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones inferiores y " $P_{prs}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores.

**Tabla 3.26** Pasos de estaciones de ida y retorno

Ancho banda m	Paso de las estaciones ida peso específico del material a transportar t/m <sup>3</sup>			retorno m
	< 1.2 m	1.2 ÷ 2.0 m	> 2.0 m	
300	1.65	1.50	1.40	3.0
400				
500				
650				
800	1.50	1.35	1.25	3.0
1000	1.35	1.20	1.10	3.0
1200	1.20	1.00	0.80	3.0
1400				
1600				
1800				
2000	1.00	0.80	0.70	3.0
2200				

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

**Tabla 3.27** Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores

Ancho banda mm	Diámetro rodillos mm									
	89		108		133		159		194	
	Pprs Kg	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri
400	—	—	—							
500	5.1	3.7	—							
650	9.1	6.5	—							
800	10.4	7.8	16.0	11.4	—					
1000	11.7	9.1	17.8	13.3	23.5	17.5				
1200			20.3	15.7	26.7	20.7	—			
1400					29.2	23.2	—			
1600					31.8	25.8	—			
1800							47.2	38.7	70.5	55.5
2000							50.8	42.2	75.3	60.1
2200							—	—	—	—

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u}$$

$$q_{RU} = \frac{15.7Kg}{3m} = 5.23 \frac{Kg}{m}$$

$$q_{RU} = 5.23 \frac{Kg}{m}$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o}$$

$$q_{RO} = \frac{20.3Kg}{1.2m} = 16.92 \frac{Kg}{m}$$

$$q_{RO} = 16.92 \frac{Kg}{m}$$

### **Esfuerzo tangencial total**

$$F_{\mu} = [L \cdot Cq \cdot Ct \cdot f \cdot (2 \cdot q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO}) + (q_G \cdot H)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = [12.67 \cdot 4,5 \cdot 1 \cdot 0,01675 \cdot (2 \cdot 4,7 + 13.88 + 5,23 + 16,92) + (13.88 \cdot 4.335)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = 101.588daN$$

### **Potencia motriz**

Conocidos el esfuerzo tangencial total en la periferia del tambor motriz, la velocidad de la banda y el rendimiento " $\eta$ " del reductor, la potencia mínima necesaria del motor vendrá dada por:

$$P = \frac{F_u \cdot v}{100 \cdot \eta}$$

$$P = \frac{101.588daN \cdot 2.5 \frac{m}{min}}{100 \cdot 0.8} = 3.17kw$$

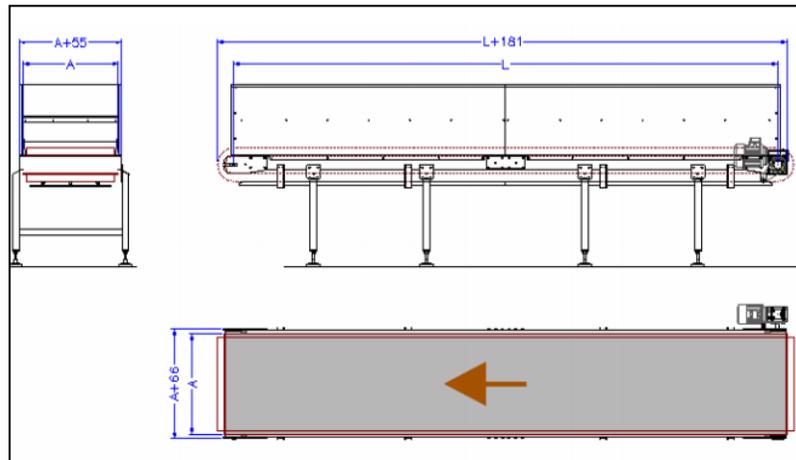
$$P = 3.17kw$$

### 3.4.5.1 Selección comercial de la cinta transportadora

Figura 3.13 a) Cinta Transportadora, b) Vistas de la cinta



(a)



(b)

Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

Tabla 3.28 Características técnicas de la Banda transportadora

Fabricante	Maskepack
Modelo	TBK – 10
Longitud entre centros de tambores (L)	1 000 a 20 000 mm
Ancho de banda (A)	500 a 1 500 mm
Diámetro de tambor motriz	100 mm
Diámetro de tambor tensor	100 mm
Velocidad	5 a 100 metros/minuto
Motorización	Extrema (en posición vertical u horizontal)
Bastidor	Hierro – Inox – Aluminio
Guías laterales	Fijas o regulables

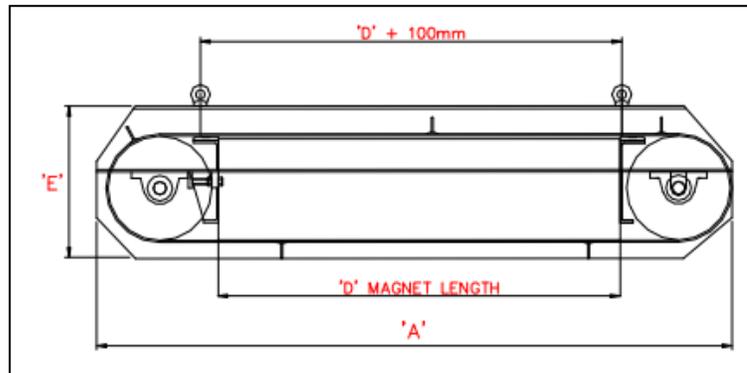
Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

### 3.4.6 Separador magnético principal

Figura 3.14 a) Desmetalizador modelo RCYB-8, b) Vistas des magneto suspendido



(a)



(b)

Fuente: Eclipsemagnetics

Tabla 3.29 Características técnicas del magnético principal

Fabricante	ECLIPSE MAGNETICS
Modelo	0M 100/650
Dimensiones generales L x W x H	1068 x 450 x 125mm
Dimensiones Imán L x W	650 x 350mm
Potencia del motor	0.18Kw
Velocidad adaptable	4.5m/s
Intensidad del campo	65mT
Material magnético	Cerámica ferrítica de estroncio
Tamaños de partículas	<100mm
Temperatura de funcionamiento	-20°C a 60°C
Peso	270Kg

Fuente: Eclipsemagnetics

### 3.4.7 Selección del molino mecánico

**Figura 3.15** Molino mecánico Eco Green-ECO G2-AG



**Fuente:** Eco-green equipment

**Tabla 3.30** Características técnicas del molino mecánico

Fabricante	ECO GREEN
Modelo	ECO G2-AG
Producto	Caucho/goma
Especificaciones del motor	Eléctrico
Cantidad de motores	1
Potencia	120 -130Hp/ 90 - 101Kw
Voltaje	Trifásico
Cámara de trituración L x A	1199 X 700mm / 46 x 28in
Dimensiones del equipo L x A x H	2267 x 2200 x 4 035mm / 89 x 786 x 160in
Peso del equipo	8 000Kg / 17 500lb
Capacidad de alimentación	Hasta 2 Ton/h
Rango de tamaños de producto	Malla 20 a Malla 6

**Fuente:** Eco-green equipment

### 3.4.7.1 Calculo de la aspiración de elementos textiles

Tomando como dato de partida la cantidad de elementos textil presente en el neumático, y dependiendo del tamaño del polvo de caucho a obtener, se ha procedido a analizar y calcular el flujo de aire necesario para separación de componentes. Para el dimensionado, se ha tomado dos consideraciones principales en lo cálculos.

- La primera consideración es determinar el volumen de aire suficiente, que deberá ser suministrado para cumplir con la capacidad estimada de producción.
  - La segunda es determinar la velocidad límite o terminal del flujo de aire aplicado a la menor partícula de polvo de caucho para así estimar su no arrastre.
- **Caudal de aire ( $Q_f$ )**

Para el cálculo del caudal de aire necesario en el sistema, primero calcularemos el flujo másico de aire. Este se lo puede determinar relacionando el flujo de masa de los elementos textiles a ser extraídos, con el flujo de masa del aire, estos en fase diluida  $R=0,5\%$

$$R = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde  $\dot{m}_p$  es el flujo másico de los elementos textiles a extraer y  $\dot{m}_f$  es el flujo másico del aire.

Considerando el análisis en los requerimientos productivos, la cantidad de elementos textiles a extraer en la obtención de polvo de caucho es de 71.2kg/h. Por lo tanto el flujo másico de los elementos textiles a extraer es:

$$\dot{m}_p = 71.2Kg/h$$

Despejando la ecuación 3.1 obtenemos el flujo másico del aire que necesitamos para separar los elementos textiles del polvo de caucho.

$$R = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f}$$

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_p}{R}$$

$$\dot{m}_f = \frac{71.2 \text{ Kg/h}}{\frac{0.5}{100}}$$

$$\dot{m}_f = 14\,240 \text{ Kg/h}$$

Obtenido el flujo másico de aire para la separación de los elementos aplicamos la siguiente ecuación y así obtenemos el caudal de aire necesario.

$$\dot{m}_f = Q_f \cdot \rho_f \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Donde  $Q_f$  es el caudal del aire y  $\rho_f$  es la densidad del aire.

Considerando el aire a temperatura ambiente (20°C) tenemos que  $\rho_f = 1.204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$$\dot{m}_f = Q_f \cdot \rho_f$$

$$Q_f = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f}$$

$$Q_f = \frac{14\,240 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{1.204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Q_f = 11\,827,242 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Como resultado este es el caudal necesario para realizar la separación de los elementos textiles del polvo de caucho en el sistema de aspiración.

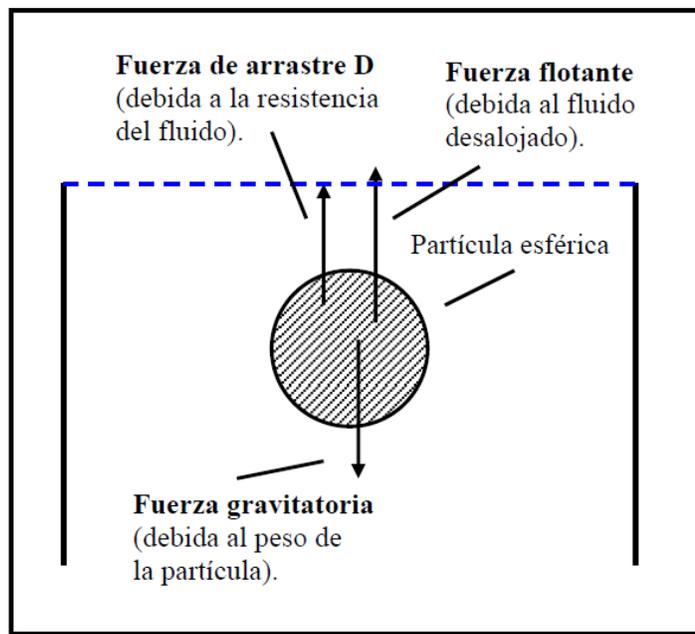
#### - Velocidad terminal del flujo de aire ( $U_t$ )

Debido a que los elementos textiles resultantes del proceso de molienda no son uniformes, y no podemos dar un valor acertado de su densidad y su forma, el cálculo para la velocidad límite del flujo de aire lo basaremos en la partícula de polvo de caucho de menor tamaño procedente del molido mecánico (0.4mm), tomando las siguientes consideraciones:

- Las partículas de polvo de caucho se asentaran o elevaran, dependiendo si sus velocidades de asentamiento son menores o mayores respectivamente a la velocidad limite o terminal del fluido.
- Para el cálculo se interpretara a las partículas de polvo de caucho como una esfera perfecta.

Tomando estas consideraciones analizaremos las fuerzas presentes en una partícula de polvo de caucho.

**Figura 3.16** Fuerzas influyentes en la partícula de caucho.



**Fuente:** [www.ebookbrowse.com](http://www.ebookbrowse.com)

Según la gráfica, una partícula esférica situada en el interior de un fluido va a estar sometida a las siguientes fuerzas:

- Fuerza de gravedad (debido al peso de la partícula) ↓
- Fuerza flotante (debido al volumen del fluido desalojado por la partícula) ↑
- Fuerza de arrastre **D** (debido a la resistencia que ofrece el fluido al avance de la partícula en su caída) ↑

Por ende la ecuación de movimiento de dicha partícula será la siguiente:

$$m_p \cdot g - m_f \cdot g - D = m_p \cdot \frac{dv}{dt} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde  $m_p$  es la masa de la partícula esférica,  $m_f$  la masa del fluido desalojado,  $v$  la velocidad de la partícula, y  $g$  la aceleración debida a la gravedad.

Cuando se alcance la velocidad límite o terminal, la velocidad " $v$ " se hará constante y por lo tanto la aceleración  $\frac{dv}{dt}$  será nula, y la ecuación 3.3 quedaría de la siguiente manera:

$$m_p \cdot g - m_f \cdot g - D = 0 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Despejando la fuerza de arrastre " $D$ " obtenemos:

$$D = g(m_p - m_f)$$

Luego sustituimos las masas de la partícula y del fluido para obtener la ecuación en función de sus densidades:

$$m_{esfera} = \frac{\pi}{6} \cdot d^3 \cdot \rho \quad \text{Ecuación 3.11}$$

$$D = \frac{\pi}{6} \cdot g \cdot d^3 \cdot (\rho_p - \rho_f)$$

Siendo  $\rho_p$  la densidad de la partícula, y  $\rho_f$  la densidad del fluido.

Por otro lado basándonos en la ecuación de Stokes, en la cual dedujo que la fuerza de arrastre " $D$ " es debida fundamentalmente a la resistencia viscosa.

$$D = 3 \cdot \pi \cdot d \cdot \eta \cdot U_t \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Siendo  $\eta$  la viscosidad del fluido, y  $U_t$  la velocidad limite.

Igualando las ecuaciones 3.5 y 3.6 tenemos:

$$3 \cdot \pi \cdot d \cdot \eta \cdot U_t = \frac{\pi}{6} \cdot g \cdot d^3 \cdot (\rho_p - \rho_f)$$

Despejando la velocidad límite " $U_t$ " obtenemos:

$$U_t = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_p - \rho_f)}{18 \cdot \eta} \quad \text{LEY DE STOKES} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

Por lo tanto:

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$d = 0.0004m$  (Partícula más pequeña de polvo)

$$\rho_p = 935 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho_f = 1204 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\eta = 1.51E^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Velocidad límite:

$$U_t = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_p - \rho_f)}{18 \cdot \eta}$$

$$U_t = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} \cdot (0.0004m)^2 \cdot \left(935 \frac{Kg}{m^3} - 1204 \frac{Kg}{m^3}\right)}{18 \cdot \left(1.51E^{-5} \frac{m^2}{s}\right)}$$

$$U_t = 5.392 \frac{m}{s}$$

### 3.4.8 Cinta de extracción y elevación al silo de carga

Velocidad de la cinta

$$q_G = \frac{Iv}{3.6 \cdot v}$$

Donde " $q_G$ " es el peso del material por metro lineal, " $Iv$ " es la capacidad de transporte de la banda en Ton/h, y " $v$ " es la velocidad de la banda en m/s.

**Tabla 3.31** Coeficiente de las resistencias pasivas

Tamaño dimensiones máximas		Banda ancho mín	velocidad max			
uniforme hasta mm	mixto hasta mm	mm	A m/s	B	C	D
50	100	400	2.5	2.3	2	1.65
75	150	500	2.5	2.3	2	1.65
125	200	650	3	2.75	2.38	2
170	300	800	3.5	3.2	2.75	2.35
250	400	1000	4	3.65	3.15	2.65
350	500	1200				
400	600	1400	4.5	4	3.5	3
450	650	1600				
500	700	1800	5	4.5	3.5	3
550	750	2000				
600	800	2200	6	5	4.5	4

A – materiales ligeros deslizables, no abrasivos, peso específico de 0,5 – 1 t/m<sup>3</sup>  
 B – materiales no abrasivos de tamaño medio, peso específico de 1 – 1,5 t/m<sup>3</sup>  
 C – materiales medianamente abrasivos y pesados, peso específico de 1,5 – 2 t/m<sup>3</sup>  
 D – materiales abrasivos, pesados y cortantes, peso específico > 2 t/m<sup>3</sup>

**Fuente:** Catalogo Técnico RULMECA

- Peso del material por metro lineal

$$q_G = \frac{2 \frac{kg}{h}}{3.6 \cdot 2.5 \frac{m}{s}} = 0.22 \frac{Kg}{m}$$

- Capacidad de transporte volumétrico

$$I_M = \frac{Iv}{qs} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Donde "Iv" es la capacidad de transporte de la banda en t/h, "qs" es el peso específico del material.

$$I_M = \frac{0.002 \frac{Ton}{h}}{0.84 \frac{Ton}{m^3}}$$

$$I_M = 0.00238 \frac{m^3}{h}$$

- Capacidad de transporte volumétrico, a una velocidad de un metro por segundo.

**Tabla 3.32** Capacidades de transporte volumétricas

<b>Capacidades de transporte volumétricas</b> con estaciones planas para $v = 1 \text{ m/s}$					
Ancho banda mm	Ángulo de sobrecarga $\beta$	$I_{VT} \text{ m}^3/\text{h}$ $\lambda = 0^\circ$	Ancho banda mm	Ángulo de sobrecarga $\beta$	$I_{VT} \text{ m}^3/\text{h}$ $\lambda = 0^\circ$
300	5°	3.6	1600	5°	152.6
	10°	7.5		10°	305.6
	20°	15.4		20°	630.7
	25°	20.1		25°	807.1
	30°	25.2		30°	1008.7
400	5°	7.5	1800	5°	194.7
	10°	15.1		10°	389.8
	20°	31.3		20°	804.9
	25°	39.9		25°	1029.9
	30°	50.0		30°	1287.0

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$I_{VT} = \frac{I_M}{v} \left[ \frac{\text{m}^3}{h} \right]$$

$$I_{VT} = 50.0 \left[ \frac{\text{m}^3}{h} \right]$$

$$q_G = \frac{Iv}{3.6 \cdot v} = \frac{50.0}{3.6 \cdot 1} 13.88 \text{ kg/m}$$

- Desnivel de la cinta transportadora (H)

$$H = 2000\text{mm} + 300\text{mm} = 2300\text{mm}$$

- Longitud de la cinta

La longitud de la cinta toma como consideración el ángulo de inclinación, que para un correcto desempeño no debe exceder de los 20°, por lo tanto:

$$L = \frac{2.3\text{m}}{\text{sen } 20^\circ} = 6.72 \text{ m}$$

- Coeficiente de resistencias fijas (accesorios de la banda) " $Cq$ "

**Tabla 3.33** Coeficiente de las resistencias fijas

Distancia entre ejes m	$Cq$
10	4.5
20	3.2
30	2.6
40	2.2
50	2.1
60	2.0
80	1.8
100	1.7
150	1.5
200	1.4
250	1.3
300	1.2
400	1.1
500	1.05
1000	1.03

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Coeficiente de resistencias pasivas " $Ct$ "

**Tabla 3.34** Coeficiente de las resistencias pasivas

Temperatura °C	+ 20°	+ 10°	0	- 10°	- 20°	- 30°
Factor $Ct$	1	1,01	1,04	1,10	1,16	1,27

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias " $f$ "

**Tabla 3.35** Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias

Cintas transportadoras horizontales, ascendentes o ligeramente descendentes	velocidad m/s					
	1	2	3	4	5	6
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores estándares	0,0160	0,0165	0,0170	0,0180	0,0200	0,0220
Elementos giratorios y mate- rial con rozamientos interiores altos en condiciones de trabajo difíciles	desde 0,023 hasta 0,027					
Elementos giratorios de cintas transportadoras descendentes con motor freno y/o generador	desde 0,012 hasta 0,016					

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

- Peso de la banda por metro lineal " $q_b$ "

El peso total de la banda " $q_b$ " se determina sumando el peso del núcleo de la banda y el revestimiento superior e inferior (aproximadamente  $1.15 \frac{Kg}{m^2}$  por cada milímetro de espesor del revestimiento)

**Tabla 3.36** Peso de la banda por metro lineal

Carga de rotura de la banda N/mm	Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m	Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m
200	2.0	-
250	2.4	-
315	3.0	-
400	3.4	-
500	4.6	5.5
630	5.4	6.0
800	6.6	8.5
1000	7.6	9.5
1250	9.3	10.4
1600	-	13.5
2000	-	14.8
2500	-	18.6
3150	-	23.4

Los pesos del núcleo de la banda reforzadas con productos textiles o metálicos se dan a título indicativo en relación con la clase de resistencia.

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$q_b = 2.4 \frac{Kg}{m} + \left( 2 \cdot 1.15 \frac{Kg}{m} \right)$$

$$q_b = 4.7 \frac{Kg}{m}$$

- Peso de las partes giratorias inferiores " $q_{RU}$ " y superiores " $q_{RO}$ "

El peso de las partes giratorias superior e inferior viene dado por:

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u} \left[ \frac{Kg}{m} \right]$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o} \left[ \frac{Kg}{m} \right]$$

En donde " $a_u$ " es el paso de estaciones de retorno, " $a_o$ " es el paso de estaciones de ida, " $P_{pri}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones inferiores y " $P_{prs}$ " es el peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores.

**Tabla 3.37** Pasos de estaciones de ida y retorno

Ancho banda m	Paso de las estaciones ida			retorno m
	peso específico del material a transportar t/m <sup>3</sup>			
	< 1.2 m	1.2 ÷ 2.0 m	> 2.0 m	
300	1.65	1.50	1.40	3.0
400				
500				
650				
800	1.50	1.35	1.25	3.0
1000	1.35	1.20	1.10	3.0
1200	1.20	1.00	0.80	3.0
1400				
1600				
1800				
2000	1.00	0.80	0.70	3.0
2200				

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

**Tabla 3.38** Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores e inferiores

Ancho banda mm	Diámetro rodillos mm									
	89		108		133		159		194	
	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri	Pprs	Ppri
Kg										
400	—	—	—							
500	5.1	3.7	—							
650	9.1	6.5	—							
800	10.4	7.8	16.0	11.4	—					
1000	11.7	9.1	17.8	13.3	23.5	17.5				
1200			20.3	15.7	26.7	20.7	—			
1400					29.2	23.2	—			
1600					31.8	25.8	—			
1800							47.2	38.7	70.5	55.5
2000							50.8	42.2	75.3	60.1
2200							—	—	—	—

Fuente: Catalogo Técnico RULMECA

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u}$$

$$q_{RU} = \frac{15.7Kg}{3m}$$

$$q_{RU} = 5.23 \frac{Kg}{m}$$

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o}$$

$$q_{RO} = \frac{20.3Kg}{1.2m}$$

$$q_{RO} = 16.92 \frac{Kg}{m}$$

Esfuerzo tangencial total

$$F_{\mu} = [L \cdot Cq \cdot Ct \cdot f \cdot (2 \cdot q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO}) + (q_G \cdot H)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = [6.72 \cdot 4,5 \cdot 1 \cdot 0,01675 \cdot (2 \cdot 4,7 + 13,88 + 5,23 + 16,92) + (13,88 \cdot 2,3)] \cdot 0.981$$

$$F_{\mu} = 53.86 \text{ daN}$$

- **Potencia motriz**

Conocidos el esfuerzo tangencial total en la periferia del tambor motriz, la velocidad de la banda y el rendimiento " $\eta$ " del reductor, la potencia mínima necesaria del motor vendrá dada por:

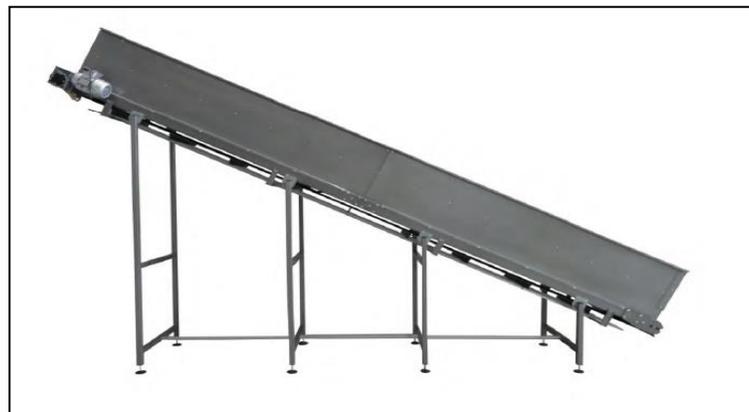
$$P = \frac{F_u \cdot v}{100 \cdot \eta}$$

$$P = \frac{53.86daN \cdot 2.5 \frac{m}{min}}{100 \cdot 0.8}$$

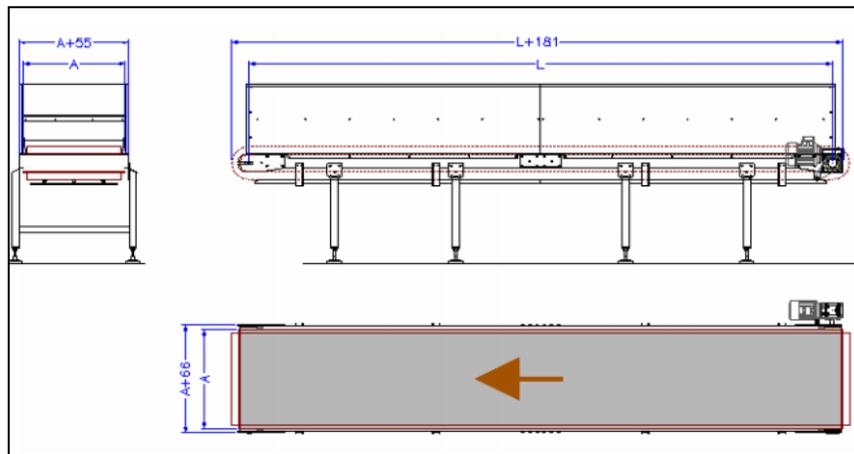
$$P1.68 \text{ kw}$$

### 3.4.8.1 Selección comercial de la cinta transportadora

Figura 3.17 a) Cinta Transportadora, b) Vistas de la cinta



(a)



(b)

Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

Tabla 3.39 Características técnicas de la Banda transportadora

Fabricante	Maskepack
Modelo	TBK – 10
Longitud entre centros de tambores	1 000 a 20 000 mm
Ancho de banda	500 a 1 500 mm
Diámetro de tambor motriz	100 mm
Diámetro de tambor tensor	100 mm
Velocidad	5 a 100 metros/minuto
Motorización	Extrema (en posición vertical u horizontal)
Bastidor	Hierro – Inox – Aluminio
Guías laterales	Fijas o regulables

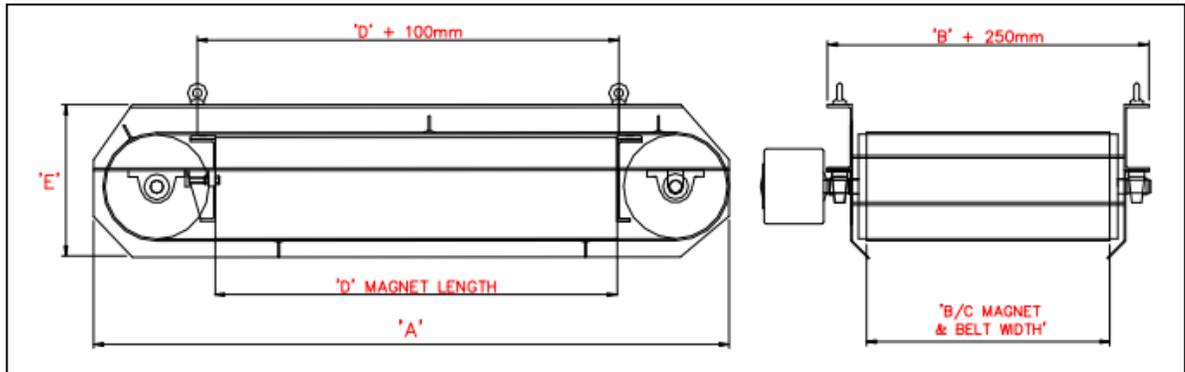
Fuente: [www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

### 3.4.9 Separador magnético secundario

Figura 3.18 a) Desmetalizador modelo RCYB-8, b) Vistas del imán suspendido



(a)



(b)

Fuente: Eclipsemagnetics

Tabla 3.40 Características técnicas del separador magnético secundario

Fabricante	ECLIPSE MAGNETICS
Modelo	0M 100/650
Dimensiones generales L x W x H	1068 x 450 x 125mm
Dimensiones Imán L x W	650 x 350mm
Potencia del motor	0.18Kw
Velocidad adaptable	4.5m/s
Intensidad del campo	65mT
Material magnético	Cerámica ferrítica de estroncio
Tamaños de partículas	<100mm
Temperatura de funcionamiento	-20°C a 60°C
Peso	270Kg

Fuente: Eclipsemagnetics

### 3.4.10 Almacenamiento de polvo de caucho

#### 3.4.10.1 Calculo del silo

Para diseñar el silo hay que tomar en cuenta la siguiente relación entre la altura/diámetro < 1.5, para tener una mejor circulación de aire.

La altura total es = 8 m.

Diámetro = 3 m.

$$\frac{Altura_{total}}{diametro} < 1.5$$

$$\frac{8m}{3m} < 1.5$$

$$2.66 < 1.5$$

Se divide al silo en dos partes:

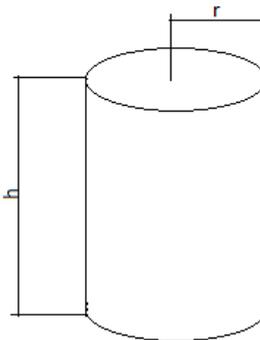
- **Cilindro:**

Calculamos el volumen en el cilindro asumiendo el radio que es de 1.5 m.

Datos:

Altura: 5 m

Radio: 1.5 m



$$V = \pi . r^2 . h$$

$$V = \pi . 1,5^2 . 5$$

$$V = 35,34 m^3$$

- **Conos:**

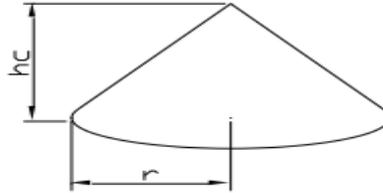
Calculamos el volumen en el cono asumiendo el radio que es de 1.5 m. la altura es de 2 m y de 1 m.

Datos:

Radio:  $r = 1.5$  m

Altura:  $h_{c1} = 2$  m

y  $h_{c2} = 1$  m



$$V_{c1} = \frac{\pi}{3} r^2 h$$

$$V_{c1} = \frac{\pi}{3} 1.5^2 \cdot 2$$

$$V_{c1} = 4.71 m^3$$

$$V_{c2} = \frac{\pi}{3} r^2 h$$

$$V_{c2} = \frac{\pi}{3} 1.5^2 \cdot 1$$

$$V_{c2} = 2.36 m^3$$

El volumen total del silo es:

$$V_T = V_{cilindro} + V_{c1} + V_{c2}$$

$$V_T = 35.34 + 4.71 + 2.36$$

$$V_T = 42.41 m^3$$

El volumen que se utilizara en la realidad es:

$$V_T = V_{cilindro} + V_{c1}$$

$$V_T = 35.34 + 4.71$$

$$V_T = 40.05 m^3$$

### 3.4.10.2 Cálculo de la cantidad a ensilar.

Se determinara la cantidad de producto que se podrá almacenar en los silos. Para determinar la masa que ocupa en el silo diseñado nos valemos de la fórmula del peso específico.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 935 \frac{kg}{m^3} \times 40.05 m^3$$

$$m = 37446.75 \text{ kg}$$

### 3.4.10.3 Cálculo del área de descarga del silo

Se desea saber el área de descarga de la tolva de salida de un silo. Dicha tolva ensacara big – bags con una capacidad de 1,5 Ton. El producto a granel se descargará de un silo diseñado a flujo masivo con tolva de inclinación 65° con la horizontal. Densidad del polvo de caucho 935  $\frac{Kg}{m^3}$ .

Para silos en flujo masivo, se aplica la ecuación de Johanson:

$$W = \rho_b \left(\frac{\pi}{4}\right) B^2 \sqrt{\frac{g \cdot B}{4 \cdot \tan \theta_c}} \quad \text{Ecuación 3.14}$$

Dónde:

W = es el peso del big – bag a empacar.

$\rho_b$  = es la densidad del producto a ensilar (polvo de caucho).

B = área de la boca de descarga del silo.

$\theta_c$  = es el ángulo de la tolva con respecto a la vertical.

En nuestro caso se determina el ancho de la boca de descarga del silo (B), para lo cual conocemos que:

$$W = 1,5 \text{ Ton/h}$$

$$\rho_b = 935 \frac{Kg}{m^3} = 0,935 \frac{Ton}{m^3}$$

$$\theta_c = 25^\circ$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s}$$

$$g = 35\,316 \frac{m}{h}$$

Por lo que despejamos de la ecuación de Johanson la incógnita “B”

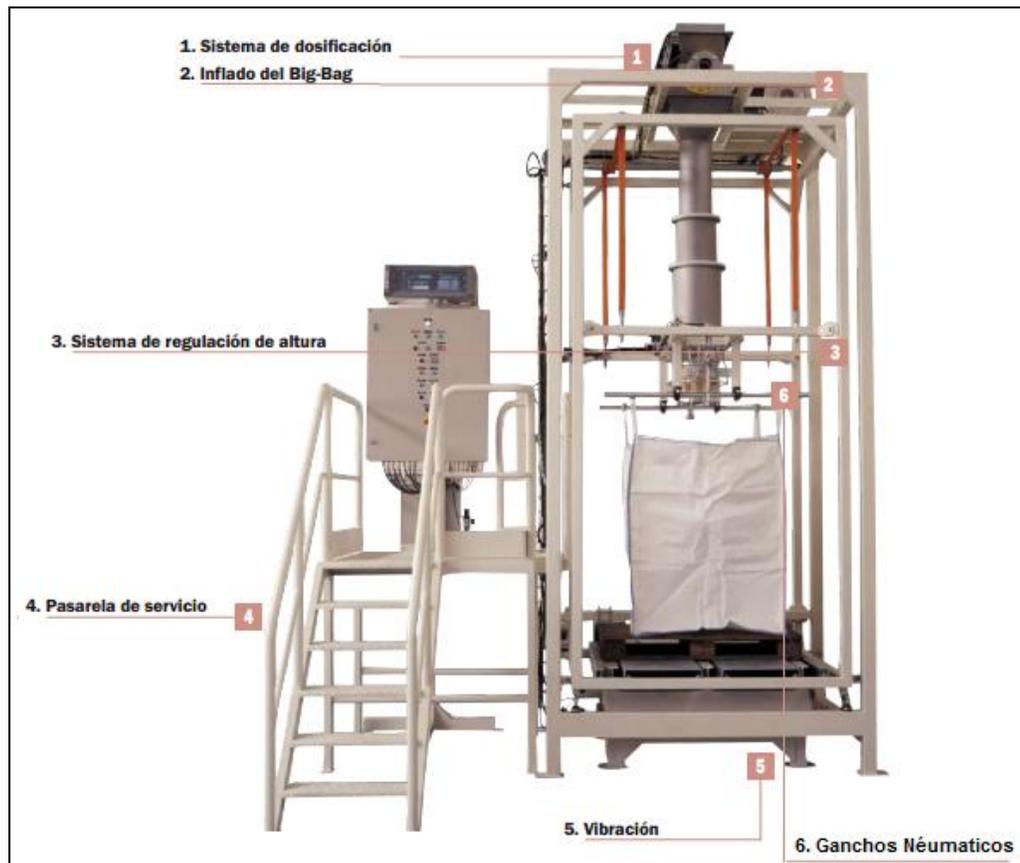
$$B = \sqrt[5]{\frac{W^2 \cdot 4 \tan \theta_c}{\rho_b^2 \cdot (\pi/4)^2 \cdot g}}$$

$$B = \sqrt[5]{\frac{(1,5)^2 \cdot 4 \cdot \tan 25^\circ}{(0,935)^2 \cdot (\pi/4)^2 \cdot (35316)}}$$

$$B = 0,1856 \text{ m}^2$$

#### 3.4.10.4 Selección comercial de la estación de llenado de big-bags

**Figura 3.19** Estación de llenado de big – bags.



Fuente: [www.payper.com](http://www.payper.com)

**Tabla 3.41** Características técnicas del Báscula - ensacadora saco abierto

Fabricante	Payper
Modelo	Big –Bag Manual o Automatizable
Producción	Estación de llenado de Big-Bags para bolsas de 500 a 2000 Kg. apoyados por la base sobre transportadores o sobre pallets.
Sistemas de Dosificación	<p>Dependiendo de las características del producto a ensacar y equipo de pesaje electrónico digital de altas prestaciones MCB+.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con <b>sistema de dosificación CG</b>: Para productos de flujo regular, tales como: cereales, semillas, granza de plástico, fertilizantes, etc.</li> <li>• Con <b>sistema de dosificación CT</b>: Para productos de flujo irregular, tales como: piensos compuestos, cereales expandidos, escamas, etc.</li> <li>• Con <b>sistema de dosificación CA</b>: Para productos en polvo o de baja granulometría, tales como: harinas, premezclas, minerales sal, etc.</li> </ul>

Fuente: [www.payper.com](http://www.payper.com)

### Características de la instalación de llenado

**1. Sistema de dosificación.-** El tipo de dosificación se instalará en función de las características del producto a ensacar.

**2. Inflado del Big-Bag.-** Se realiza mediante un generador de aire y se utiliza siempre y cuando el Big-Bag disponga de bolsa interior de polietileno.

**3. Sistema de regulación de altura.-** Está compuesto por un marco interior donde se ubican los ganchos para la sujeción de las asas del Big-Bag. Dicho marco se desplaza verticalmente sobre guías y su accionamiento es motorizado y a través de correas. Cuando se instala este sistema, el tubo de caída de producto se fabrica telescópico.

**4. Pasarela de servicio.-** Ubicada en un lateral de la máquina es la zona de trabajo del operario. Desde allí tiene acceso al armario de control y al equipo de pesaje. La plataforma es retráctil sobre ruedas para facilitar al operario las funciones de enganche y desenganche de los Big-Bags.

**5. Vibración.-** Bajo la plataforma de pesaje se instala un sistema de compactación ideal para productos de difícil asentamiento. Dicho sistema queda aislado de la plataforma de pesaje, a efectos de evitar errores en la lectura del peso.

#### **6. Ganchos neumáticos**

Facilitan las operaciones de enganche y desenganche de los Big-Bags.

### **3.5 Cuadro eléctrico general de la línea de procesado de NFU**

El sistema de control del equipo está compuesto por todos los elementos de control, operación y protección, esta será manejada por un PLC y una pantalla que visualiza y controla todos los parámetros de los equipos y su protección, indicándonos en caso de requerirse dónde encontrar las fallas que se presenten. Los mandos para todos los componentes de la instalación serán ensamblados en un tablero de distribución. La unidad de potencia contará con interruptores guarda de motor, contactores principales y auxiliares para los accionamientos. La unidad de mando contará con control de inversión integrado para corregir la alimentación equivocada de materiales que no deben ser procesados. Se incluirán pulsadores, interruptores y señalizadores luminosos para el manejo de la instalación y la vigilancia. Todos estos parámetros estarán sujetos a una tensión de red: 220 V / 60 Hz y una tensión de mando: 220 V / 60 Hz

### **3.6 Potencia total instalada**

- |                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| - Equipos y línea de producción | 400 Kw |
| - Bandas transportadoras        | 12 Kw  |

### **3.7 Layout de la línea de procesado para NFU.**

El layout de la planta consta con todos los equipos necesarios para producir polvo de caucho, a base de NFU considerando al NFU con un diámetro máximo de 1400mm. (ANEXO G)

### **3.8 Simulación del proceso mediante software especializado**

El software a utilizar para la simulación de la línea de procesado de NFU es Promodel 7 ya que es un software de adquisición libre para estudiantes, orientado a desarrollar, modelar, simular, visualizar, monitorear actividades y sistemas con procesos de flujo dinámico. Promodel es un software basado en el sistema operativo de Windows, es una poderosa herramienta de simulación y análisis de la producción de sistemas de cualquier tipo y tamaño. Esta herramienta proporciona la combinación perfecta entre la facilidad en sus uso, potencia y flexibilidad para modelar en términos reales casi cualquier situación.

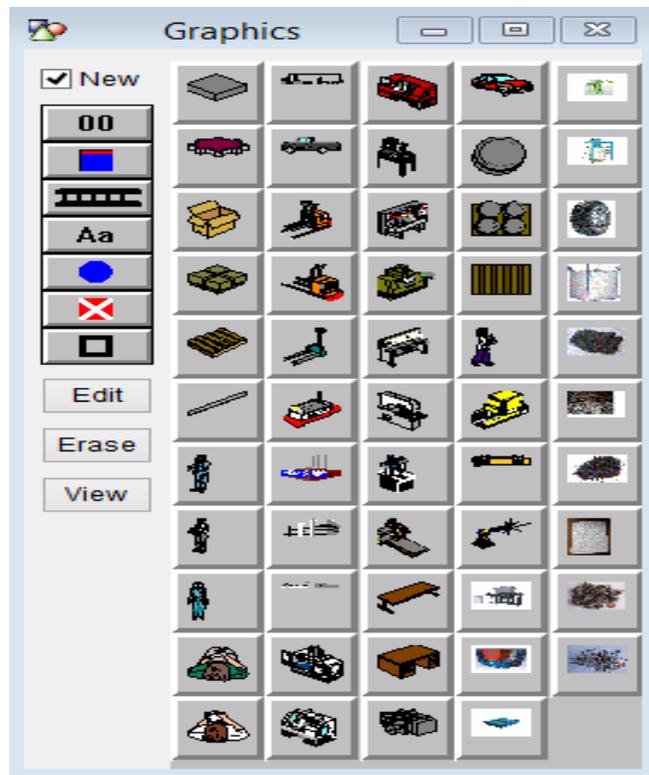
Antes de invertir el tiempo y los recursos necesarios para construir o modificar un sistema real, Promodel provee a Ingenieros y Administradores la oportunidad de probar nuevas ideas para el diseño de dicho sistemas o mejorar el rendimiento de los mismos. Este simulador por medio de su capacidad de modelar dos elementos importantes de un sistema de producción, tales como: utilización de recursos, capacidad del sistema y horarios de producción; permite experimentar diferentes alternativas de funcionamiento y estrategias de diseño a fin de lograr los mejores resultados dentro de la operación. Como un programa de simulación de eventos discretos, Promodel posee aplicaciones destinadas principalmente a:

- Simulación de Ensamble de líneas
- Simulación de sistemas de producción justo a tiempo
- Simulación de sistemas de manufactura flexible
- Simulación de la administración de la cadena de abastecimiento y logística, entre otros.

### 3.8.1 Características del Software especializado Promodel 7

Los elementos que conforman el modelo han de estar correctamente definidos, porque el programa antes de hacer la simulación comprueba la corrección en la definición del modelo. Este debe contener al menos los siguientes elementos: Locaciones, entidades, arribos y un proceso, la simulación con Promodel es la forma como se animan las interacciones entre los elementos (locaciones, entidades, etc.) y la lógica definida.

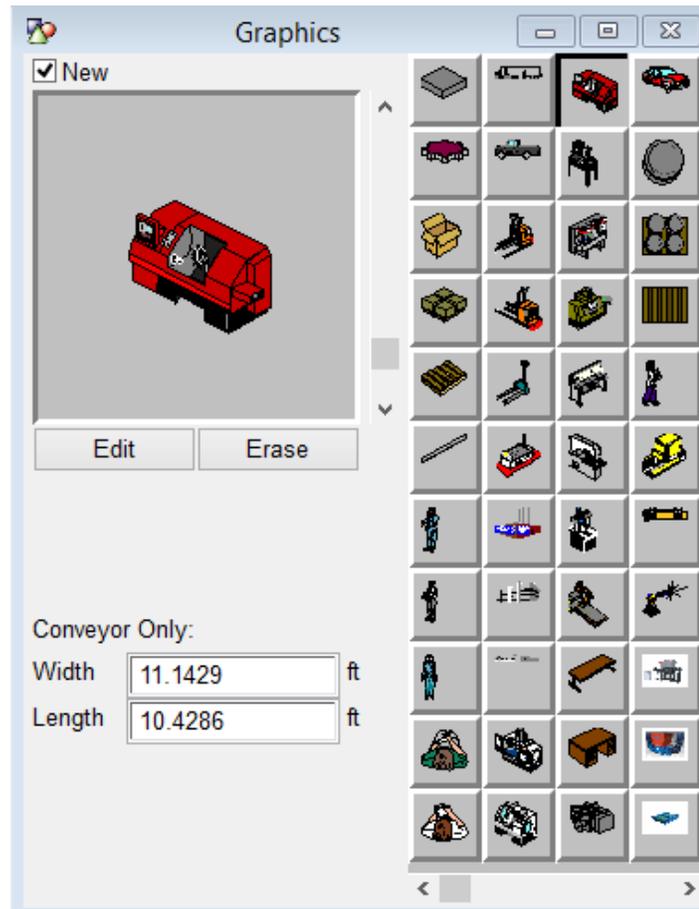
**Figura 3.20** Locaciones en el Software Promodel 7



**Fuente:** Los autores

Las locaciones representan los lugares fijos en el sistema a dónde se dirigen las entidades por procesar, el almacenamiento, o alguna otra actividad o fabricación. Deben usarse locaciones para modelar los elementos como las máquinas, áreas de espera, estaciones de trabajo, colas, y bandas transportadoras, en cambio, a cualquier cosa que el modelo procesa es llamada entidad, entre los cuales están las piezas, productos, gente, y hasta papeles de trabajo.

**Figura 3.21** Locaciones en el software Promodel 7



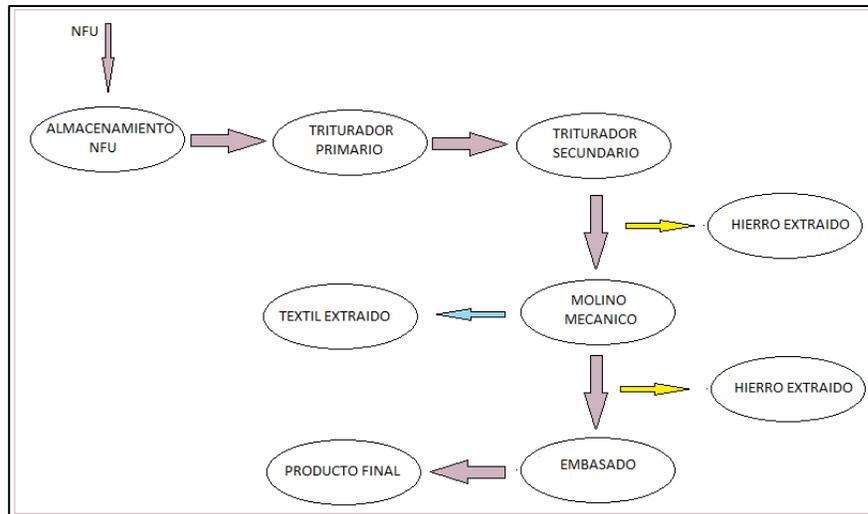
**Fuente:** Los autores

El procesamiento describe las operaciones que toman lugares en una locación, como la cantidad de tiempo que una entidad gasta en un lugar, los recursos que se necesitan para realizar el proceso, y cualquier otra cosa que ocurra o suceda en la locación, incluyendo la elección del siguiente destino de la entidad, y cada vez que una nueva entidad es introducida en el sistema, se le conoce como llegada.

### 3.8.2 Simulación de la línea de procesado

Para realizar la simulación de la línea de procesado de NFU a partir de neumáticos usados se definirán los siguientes datos en el programa Promodel, basados en el siguiente diagrama de flujo.

**Figura 3.22** Diagrama de flujo línea de procesado NFU



**Fuente:** Los autores

#### 3.8.2.1 Datos de entrada

**Tabla 3.42** Capacidades de equipos / sistemas requeridos para obtención de polvo de caucho

EQUIPO / SISTEMA	CAP. REQUERIDA
Cinta transportadora	2.05Ton/h
Triturador (2 ejes)	2.05Ton/h
Cinta transportadora	2.05 Ton/h
Triturador (4 ejes)	2.05Ton/h
Cinta transportadora	2.05 Ton/h
Magneto suspendido	351.5Kg/h
Molino de rodillo tipo cracker	1.7Ton/h
Cinta transportadora	1.7 Ton/h
Magneto suspendido	18.5Kg/h
Ensacadora	2 Ton/h

**Fuente:** Elaborado por los autores

**Figura 3.23** Cuadro de locaciones del software Promodel

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...	Notes...
	ALM_NFU	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	BANDA_1	INF	1	None	Time Series	Oldest, FIFO	
	TRIT_PRIM	1	1	None	Time Series	Oldest	
	BANDA_2	INF	1	None	Time Series	Oldest, FIFO	
	TRIT_SEC	1	1	None	Time Series	Oldest	
	BANDA_3	INF	1	None	Time Series	Oldest, FIFO	
	MOLINO_MEC	1	1	None	Time Series	Oldest	
	BANDA_4	INF	1	None	Time Series	Oldest, FIFO	
	EMBASADORA	1	1	None	Time Series	Oldest	
	DESM_PRIM	1	1	None	Time Series	Oldest	
	DESM_SEC	1	1	None	Time Series	Oldest	
	ALM_SACOS_VAC	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	ALM_BIG_BAGS	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	CAMION	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	ALM_HIERRO	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	ALM_TEXTIL	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	BANDA_5	1	1	None	Time Series	Oldest, FIFO	

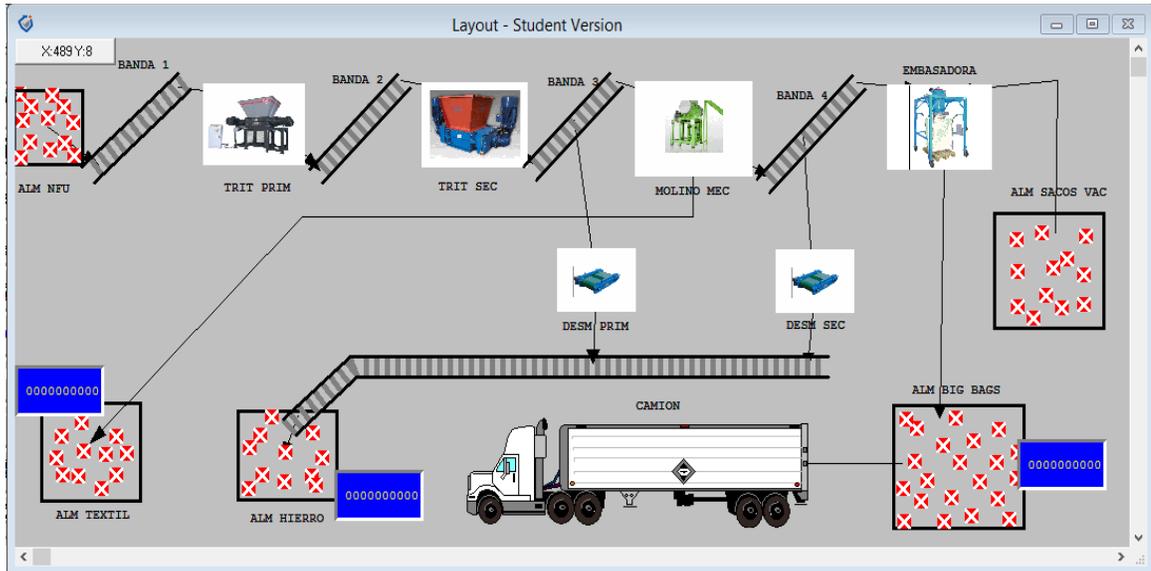
**Fuente:** Los autores

**Figura 3.24** Cuadro de entidades del software Promodel

Icon	Name	Speed (mpm)	Stats	Notes...
	TROZOS_NFU	50	Time Series	
	GRANULADO_NFU	50	Time Series	
	POLVO_NFU	50	Time Series	
	SACOS_VACIOS	50	Time Series	
	BIG_BAGS	50	Time Series	
	HIERRO	50	Time Series	
	TEXTIL	50	Time Series	
	NFU	50	Time Series	

**Fuente:** Los autores

**Figura 3.25** Proceso línea de NFU software Promodel



**Fuente:** Los autores

### 3.9 Resultados de la simulación

Los resultados obtenidos al finalizar con la simulación son los siguientes:

**Figura 3.26** Resultados de la simulación del software

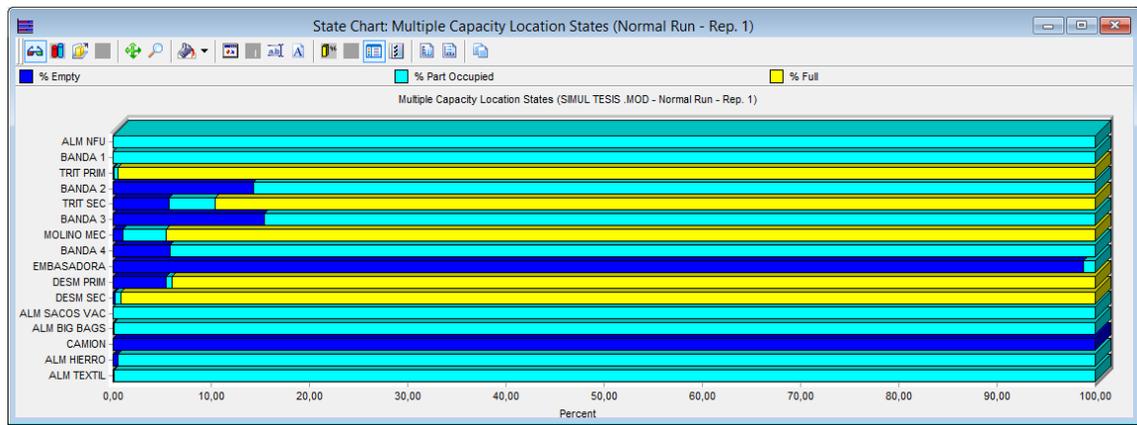
General Report (Normal Run - Rep. 1)									
SIMUL TESIS .MOD (Normal Run - Rep. 1)									
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization	
ALM NFU	200,00	999999,00	12001,00	5748,18	5748,66	11614,00	11614,00	0,57	
BANDA 1	200,00	999999,00	387,00	185,06	5,97	6,00	6,00	95,27	
TRIT PRIM	200,00	35,00	381,00	1099,27	34,90	35,00	35,00	99,72	
BANDA 2	200,00	999999,00	346,00	29,72	0,86	1,00	1,00	64,27	
TRIT SEC	200,00	35,00	345,00	1116,05	32,09	35,00	35,00	91,68	
BANDA 3	200,00	999999,00	310,00	32,75	0,85	1,00	1,00	76,60	
MOLINO MEC	200,00	35,00	182,00	2235,47	33,90	35,00	35,00	96,87	
BANDA 4	200,00	999999,00	147,00	76,92	0,94	1,00	1,00	76,88	
EMBASADORA	200,00	35,00	147,00	1,00	0,01	1,00	0,00	0,04	
DESM PRIM	200,00	6,00	127,00	534,70	5,66	6,00	6,00	94,31	
DESM SEC	200,00	6,00	146,00	490,64	5,97	6,00	6,00	99,49	
ALM SACOS VAC	200,00	999999,00	12001,00	5919,16	5919,65	11854,00	11854,00	0,59	
ALM BIG BAGS	200,00	999999,00	147,00	6599,03	80,84	147,00	147,00	0,01	
CAMION	200,00	999999,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ALM HIERRO	200,00	999999,00	260,00	5985,78	129,69	260,00	260,00	0,01	
ALM TEXTIL	200,00	999999,00	147,00	6602,58	80,88	147,00	147,00	0,01	
BANDA 5	200,00	1,00	261,00	45,91	1,00	1,00	1,00	19,68	

**Fuente:** Los autores

En los resultados se aprecia el total promedio de la producción de polvo de caucho que se obtiene al día, el porcentaje de utilización de cada recurso humanos es de alrededor

del 80%, y se puede observar que las funciones se encuentran mejor distribuidas, ya que los porcentajes de utilización son muy cercanos entre sí.

**Figura 3.27** Capacidad de locaciones



**Fuente:** Los autores

En los resultados de la simulación también se observa la automatización del proceso, y en los contenidos de registro se puede ver que las transferencias son procesadas de una forma más eficiente, teniendo una carga de trabajo distribuida a lo largo de la jornada laboral. También en los contenidos de registro se encuentra el proceso de las actividades realizadas en los momentos necesarios para la continuidad en la obtención del polvo de caucho.

Dado que es un proceso continuo, en el análisis de entidades y productos procesados la transferencia se simulación se realizó en un tiempo de 200 horas en el sistema, por lo que se puede apreciar que el proceso es más uniforme, sin acumulación de trabajo en horas determinadas.

### **Conclusiones del capítulo**

Luego de realizar el análisis de las tecnologías y sistemas con los que se pueden obtener polvo de caucho a base de NFU y haber realizado un proceso de ponderación para determinar qué sistema era el más óptimo para nuestros requerimientos, en este capítulo se realizó el diseño de la línea de procesado de NFU para la obtención de polvo de

caucho, analizando y dimensionando los equipos acorde a la capacidad de procesamiento requerido.

Se realizó una selección de los equipos teniendo en cuenta tres casas comerciales para poder así determinar la maquinaria más apta y que se ajuste a todos nuestros requerimientos. Los equipos seleccionados se los detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 3.43** Equipos seleccionados

<b>EQUIPO</b>	<b>CASA COMERCIAL</b>
Cinta transportadora	Maskepack
Triturador inverso con desgarradores de cuchillas (2 ejes).	Global RecyclingEquipment
Cinta transportadora	Maskepack
Triturador inverso con desgarradores de cuchillas (4 ejes).	Tritotutto
Cinta transportadora	Maskepack
Magneto suspendido	Eclipsemagnetics
Molino de rodillo tipo Cracker	ECO GREEN
Cinta transportadora	MasKepak
Magneto suspendido	Eclipsemagnetics
Bascula	Arcomet7

Fuente: Los autores

Al realizar la simulación de la línea de procesamiento de NFU se obtuvo datos excelentes que revelan la eficiencia y correcto funcionamiento para producir polvo de caucho.

## **CAPITULO 4**

### **ESTUDIO TECNICO- FINANCIERO**

#### **Introducción**

El Proyecto que hemos presentado en las páginas anteriores tiene su principal característica en su alta rentabilidad desde el inicio de las actividades. Se trata de la venta de un producto elaborado con un gran valor añadido merced a su bajo coste de materia prima, por lo que los rendimientos y los beneficios son altos.

Con el siguiente capítulo se pretende determinar el monto económico necesario para la realización de nuestro proyecto. El análisis de costos se lo realiza tomando en cuenta los costos directos e indirectos de fabricación.

Para determinar el costo total directo se considera: La materia prima, La mano de obra directa

De manera similar para determinar el costo total indirecto se considera: La mano de obra indirecta, Energía eléctrica, Agua, etc.

Para determinar el costo total de la inversión del proyecto, se suma el total de los costos directos con los costos indirectos, y así determinar si el proyecto es rentable.

#### **4.1 Costos de inversión**

Los costos de inversión se calculan considerando el diseño más óptimo para la línea de procesado de NFU. Por ello se han considerado alternativas comerciales de los equipos requeridos con el fin de establecer la propuesta más adecuada y económica. Cabe recalcar que esta línea de procesado está diseñada en un principio para trabajar un solo turno, por lo que queda abierta la posibilidad de trabajar dos o incluso tres turnos diarios para un tiempo posterior si la demanda del producto es requerida.

En la tabla 4.1 se detalla los diferentes equipos y sistemas necesarios para el diseño de la línea de procesado en la obtención de polvo de caucho a base de NFU.

**Tabla 4.1** Costos de equipos y sistemas

<b>MAQUINARIA</b>	<b>PRECIO</b>
CINTA TRANSPORTADORA	1.400,00
TRITURADOR PRIMARIO (2 EJES)	25.000,00
CINTA TRANSPORTADORA	1.400,00
TRITURADOR SECUNDARIO(4 EJES)	30.000,00
CINTA TRANSPORTADORA	1.400,00
MAGNETO SUSPENDIDO	5.500,00
MOLINO DE RODILLO TIPO CRACKER	55.000,00
CINTA TRANSPORTADORA	1.400,00
MAGNETO SUSPENDIDO	5.500,00
BASCULA	20.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>146.600,00</b>

**Fuente:** Los autores

## **4.2 Costo de producción**

El costo de producción está conformado por todos aquellos costos que intervienen directa e indirectamente en el proceso.

### **4.2.1 Costos directos de fabricación**

Son los costos que influyen de manera directa en el proceso de fabricación como son la materia prima y la mano de obra directa.

#### **4.2.1.1 Costo de la materia prima**

Para definir el costo anual de la materia prima, se considera la cantidad de producto que se espera procesar, en nuestro caso son NFU, y debido a que son elementos que en la actualidad son desechados sin ningún interés comercial, pero nosotros le daremos un costo a estos para el cálculo será con un valor de \$ 6,00 la tonelada de neumáticos fuera de uso.

Por otro lado se necesitaran big – bags, que serán los recipientes finales de recolección y transporte del polvo de caucho, cada big - bags se venderá al mercado en cantidades de 1,5 Ton. Y de acuerdo a que la línea de procesado está diseñada para producir en un principio 3 100 Ton al año se necesitaran alrededor de 2 067 big - bags.

**Tabla 4.2** Costos de materia prima

MATERIA PRIMA	CONSUMO ANUAL	COSTO DE CADA BIG-BAG (USD)	costo de kg de neumatico usado	COSTO TOTAL ANUAL
NFU (EN TON)	4.094,00		6,00	24.564,00
BIG - BAGS (# sacos)	2067	4,00		8.268,00
<b>TOTAL</b>				<b>32.832,00</b>

Fuente: Los autores

#### 4.2.1.2 Costo de mano de obra directa.

La mano de obra directa se considera aquella involucrada directamente en el proceso productivo, analizando al personal involucrado en la línea de procesado tenemos lo siguiente:

- Una persona encargada del almacenaje y clasificación de la materia prima.
- Un técnico encargado de la producción y aseguramiento de la calidad.
- Dos personas para producción.
- Una persona encargada del almacenaje y clasificación del producto final.
- Un técnico comercial.

Como es una planta pequeña se considerara que trabajen seis personas, además como es un proceso semiautomático no se requiere más personal.

**Tabla 4.3** Costo de mano de obra directa

CANTIDAD		PUESTO/AREA DE TRABAJO	SUELDO MENSUAL	COSTO ANUAL (CON XIII Y XIV SUELDO)
1		RECEPCION-ALMACENAJE Y CLASIFICACION DE NFU	320,00	4.480,00
2		OBREROS PRODUCCION	400,00	11.200,00
1		ALMACENAJE Y CLASIFICACION FINAL	320,00	4.480,00
<b>TOTAL</b>				<b>20.160,00</b>

Fuente: Los autores

#### 4.2.2 Costos indirectos de fabricación

Son los que se relacionan indirectamente con la manufactura, pero de igual manera forman parte del costo final de producción, interviniendo así la mano de obra indirecta, energía eléctrica, agua, etc.

##### 4.2.2.1 Costo de mano de obra indirecta

Este costo hace referencia al sueldo del personal que está involucrado indirectamente en la producción, en nuestro caso está el Jefe de producción, y el Técnico comercial.

**Tabla 4.4** Costo de mano de obra indirecta

CANTIDAD		PUESTO/AREA DE TRABAJO	SUELDO MENSUAL	COSTO ANUAL (CON XIII Y XIV SUELDO)
1		JEFE DE PRODUCCION Y CALIDAD	750	10.500,00
<b>TOTAL</b>				<b>10.500,00</b>

Fuente: Los autores

##### 4.2.2.2 Costo de Energía Eléctrica

Para el cálculo del consumo de energía eléctrica en la línea de procesado se considero las cargas de los equipos seleccionados comercialmente, y el precio actual del costo de energía eléctrica suministrado por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

**Tabla 4.5** Costo de energía eléctrica

MAQUINARIA	Kw/h	PRECIO Kw	HORAS AL DÍA	TOTAL DE DÍAS AL AÑO	TOTAL
CINTA TRANSPORTADORA	3	0,0831	8	260	518,54
TRITURADOR PRIMARIO (2 EJES)	90	0,0831	8	260	15.556,32
CINTA TRANSPORTADORA	4	0,0831	8	260	691,39
TRITURADOR SECUNDARIO(4 EJES)	90	0,0831	8	260	15.556,32
CINTA TRANSPORTADORA	3	0,0831	8	260	518,54
MAGNETO SUSPENDIDO	0,18	0,0831	8	260	31,11
MOLINO DE RODILLO TIPO CRACKER	90	0,0831	8	260	15.556,32
CINTA TRANSPORTADORA	2	0,0831	8	260	345,70
MAGNETO SUSPENDIDO	0,18	0,0831	8	260	31,11
BASCULA	15	0,0831	8	260	2.592,72
<b>TOTAL</b>					<b>51.398,08</b>

Fuente: Los autores

#### 4.2.2.3 Costo de Agua potable

El consumo de agua potable incluye la limpieza de la planta, e higiene del personal, este costo se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 4.6** Costo de agua potable

CONSUMO DIARIO (m3)		CONSUMO ANUAL (m3)	COSTO m3 DE AGUA	COSTO ANUAL
5		1300	0,20	<b>260,00</b>

Fuente: Los autores

#### 4.2.2.4 Costo de depreciación de equipos

Para la depreciación de los equipos como otro costo indirecto de fabricación utilizaremos la ecuación lineal.

$$D_a = \frac{C - V_D}{V_u}$$

**Ecuación 4.1**

Donde

" $D_a$ " = Es el monto anual a depreciarse,

" $V_D$ " = Valor de desecho o rescate al final de su vida útil,

" $V_u$ " = Es la vida útil estimada, (según la Ley de Régimen Tributario Interno\*)

" $C$ " = Es el costo del equipo.

De la siguiente tabla sacamos el tiempo de depreciación.

**Tabla 4.7** Tiempo de depreciación de los equipos

Activo	Tiempo de depreciación (años)
Infraestructura	20 años (5 % / año)
Maquinaria	10 años (10 % / año)
Vehículos	5 años (20 % / año)

Fuente: Los autores

Como son equipos la depreciación de estos para nuestro cálculo será de 10 años, así como un valor de desecho del 10% de su valor inicial. El costo de los equipos y su valor de rescate se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 4.8** Costo de Equipos y valor de rescate

<b>Equipo</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Valor de rescate 10% (USD)</b>
Cinta transportadora	1 400	140
Triturador inverso con desgarradores de cuchillas (2 ejes).	25 000	2 500
Cinta transportadora	1 400	140
Triturador inverso con desgarradores de cuchillas (4 ejes).	30 000	3 000
Cinta transportadora	1 400	140
Magneto suspendido	5 500	550
Molino de rodillo tipo Cracker	55 000	5 500
Cinta transportadora	1 400	140
Magneto suspendido	5 500	550
Bascula	20 000	2000
<b>TOTAL</b>		<b>14 660,00</b>

Fuente: Los autores

Una vez conocidas todas las variables para el cálculo de depreciación, procedemos a obtener los costos anuales de depreciación en los equipos.

**Tabla 4.9** Costo anual de depreciación de los equipos

<b>COSTO DEL EQUIPO</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 1</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 2</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 3</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 4</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 5</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 6</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 7</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 8</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 9</b>	<b>DEPRECIACION AÑO 10</b>
1.400,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00
25.000,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00
1.400,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00
30.000,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00	2.700,00
1.400,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00
5.500,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00
55.000,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00	4.950,00
1.400,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00	126,00
5.500,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00
20.000,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00
246.416,59	11.704,79	11.704,79	11.704,79	11.704,79	11.704,79	11.704,79	11.704,79	11.704,79	11.704,79	11.704,79
<b>TOTAL</b>	<b>13.194</b>									

Fuente: Los autores

#### 4.2.2.5 Gastos Administrativos

Los gastos administrativos incluyen los sueldos del personal administrativo en los cuales se encuentra el gerente general, jefe financiero, contador, secretaria, guardián y limpieza, datos que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4.10** Gastos administrativos

CARGO		SUELDO MENSUAL	COSTO ANUAL
GERENTE GENERAL		1.500,00	18.000,00
JEFE FINANCIERO		900,00	10.800,00
SECRETARIA		450,00	5.400,00
CONTADOR		700,00	8.400,00
GUARDIANIA		400,00	4.800,00
LIMPIEZA		350,00	4.200,00
<b>TOTAL</b>			<b>51.600,00</b>

Fuente: Los autores

#### 4.2.2.6 Gastos por ventas

Para los gastos administrativos está considerado el sueldo del jefe de marketing, el gasto por distribución y se ha considerado un estimado para costos de publicidad.

**Tabla 4.11** Gastos por ventas

CONCEPTO		GASTO MENSUAL	GASTO ANUAL
GASTOS DE DISTRIBUCION		500,00	6.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>6.000,00</b>

Fuente: Los autores

#### 4.2.2.7 Otros costos

Se consideran otros costos menores, a los que pueden incluir compra de materiales, transporte, alimentación, etc. Estimando para estos un valor de 250 USD mensuales, obteniendo un costo anual de 3 000USD

### 4.2.3 Determinación del costo de producción

Para determinar el costo de producción, se suma los costos directos de fabricación y los costos indirectos de fabricación. Por lo tanto:

**Tabla 4.12** Costos de Producción

<b>RUBRO</b>	<b>CANTIDAD</b>
COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN	<b>52.992,00</b>
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	<b>122.758,08</b>
<b>TOTAL COSTOS PRODUCCIÓN</b>	<b>175.750,08</b>

Fuente: Los autores

Para obtener el costo de producción por unidad que en nuestro caso es de 1,5 Ton cada big - bag, dividimos el total de costos de producción anual para el número de big- bags obtenidos en el mismo periodo, obteniendo de esta manera:

$$\text{costo unitario} = \frac{\text{Costo total de Produccion}}{\text{Numero de unidades obtenidas}}$$

$$\text{costo unitario} = \frac{175.750,08}{2067}$$

$$\text{costo unitario} = \$ 85,03$$

### 4.3 Punto de Equilibrio

Debido a que el costo unitario (big – bags de 1.5 Ton) es de \$ 85,03 USD asumiremos un precio para la venta con un incremento del 75% al costo del valor por unidad, significando así un valor final del producto de \$ 148,80 USD que representaría anualmente un promedio de \$ 307.562,64 USD.

**Tabla 4.13** Punto de Equilibrio

<b>Rubro</b>	<b>Anuales (USD)</b>
Ingresos	307.562,64
Costos Fijos	139.918,08
Costos Variables	35.832,00

Fuente: Los autores

De este modo procedemos a calcular el punto de equilibrio con la siguiente ecuación:

$$PE = \frac{C_f}{PVP - C_v} \quad \text{Ecuación. 4.2}$$

Donde

"PE" = es el punto de equilibrio en unidades de producción,

"C<sub>f</sub>" = es el total de costos fijos del período,

"PVP" = es el precio de venta al público por cada unidad,

"C<sub>v</sub>" = es el costo variable por unidad.

El costo variable por unidad, se obtiene dividiendo el costo variable total para el número de unidades producidas al año, obteniendo así:

$$C_v = \frac{35.832,00}{2067}$$

$$C_v = 17,34$$

Por lo tanto el punto de equilibrio será:

$$PE = \frac{C_f}{PVP - C_v}$$

$$PE = \frac{139.918,08}{148,80 - 17,34}$$

$$PE = 1064,33 \approx 1064 \text{ big - bags}$$

Este valor nos indica que es necesario vender 1064 big - bags de polvo de caucho, para no producir pérdida ni ganancia.

#### **4.4 Recuperación de la inversión**

Para estimar el tiempo de recuperación de la inversión, es necesario considerar dos valores fundamentales, el costo de la infraestructura y el costo de los equipos de la línea de procesado (Tabla 4.1).

Por lo tanto el monto total invertido en la línea de procesado es de:

**Tabla 4.14** Recuperación de la inversión

Costo total de la maquinaria	146.600,00
Valor de la infraestructura	246.416,59
<b>TOTAL</b>	<b>393.016,59</b>

Fuente: Los autores

#### 4.5 Flujo de Caja

El flujo de caja se caracteriza por dar cuenta de lo que efectivamente ingresa y egresa del negocio, como los ingresos por ventas o el pago de cuentas (egresos). La importancia del Flujo de Caja es que nos permite conocer en forma rápida la liquidez de la empresa, entregándonos una información clave que nos ayuda a tomar decisiones claves para montar un negocio o empresa.

**Tabla 4.15** Flujo de caja

	0	1	2	3	4	5
Ingresos		307.562,64	316.789,52	326.293,21	336.082,00	346.164,46
Costos Variables		35.832,00	35.832,00	35.832,00	35.832,00	35.832,00
Costos Fab. Fijos		139.918,08	139.918,08	139.918,08	139.918,08	139.918,08
Depreciación		13.194,00	13.194,00	13.194,00	13.194,00	13.194,00
Utilidad antes Imp.		118.618,56	127.845,44	137.349,13	147.137,92	157.220,38
Impuesto (25%)		29.654,64	31.961,36	34.337,28	36.784,48	39.305,10
Utilidad neta		88.963,92	95.884,08	103.011,84	110.353,44	117.915,29
Depreciación		13.194,00	13.194,00	13.194,00	13.194,00	13.194,00
Inversión Inicial	-393.016,59					
Valor desecho						
Flujo de Caja	-393.016,59	102.157,92	109.078,08	116.205,84	123.547,44	131.109,29

Fuente: Los autores

#### 4.6 Valor actual neto (VAN)

Es un método que nos permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual mediante una tasa de interés, todo los lujos de caja futuros del proyecto, a este valor se le resta la inversión inicial, de tal manera que la cantidad obtenida es el valor actual neto de nuestro proyecto.

$$VAN = \frac{Ft}{(1 + k)^t}$$

Ft = representa los flujos de caja en cada periodo.

k = es el tipo de interés

t = es el numero de periodos considerado

$$VAN = 157.813,17$$

#### 4.7 Tasa interna de retorno (TIR)

Este valor nos indica la tasa de interés para la cual el proyecto será aceptable, por lo tanto mide la rentabilidad del dinero mantenido dentro del proyecto.

Para el cálculo del TIR se ha determinado la inversión inicial del proyecto y los flujos de efectivo para cada uno de los periodos que dura el proyecto. Por lo tanto la tasa de interés de oportunidad ( $i_0$ ), se obtiene despejando de la siguiente ecuación:

$$VAN = \frac{Fn}{(1 + i_0)^n}$$

Para nuestro proyecto se obtiene un TIR del 29,43%, que es mayor a la tasa de inflación indicando que el proyecto es viable.

## **Conclusiones del capítulo**

Con la realización de este capítulo pudimos determinar si es viable o no realizar la inversión para el desarrollo del proyecto, al mismo tiempo que se lo podría mostrar para una futura visualización de inversionistas a fin de que inviertan en el proyecto de producción que les generaría una buena rentabilidad.

Los valores aquí indicados en el proyecto para lo que representa rubros de todos los empleados, parte administrativas y de producción, están a un valor mínimo que se lo podría colocar ya que la empresa está recién queriendo empezar, y estos costos de sueldos podrían ir teniendo a medida que avanza el proyecto un incremento para así satisfacer y que sea acorde a el título y esfuerzo que cada uno ha ido desempeñando a manera que crece la empresa.

De acuerdo a los valores obtenidos en el flujo de caja podemos determinar que el proyecto es totalmente rentable y viable. Ya que los indicadores VAN y TIR lo demuestran.

## CONCLUSIONES

En base a todos los temas tratados en los capítulos de la presente tesis, se determinan a continuación algunas conclusiones generales:

En la actualidad en muchos países del mundo se está dando un gran interés por reciclar materiales y darles un nuevo uso, con la intención de evitar la contaminación que por muchos años ha estado a merced del ser humano y la ha ido destruyendo de muchas maneras, pero con la implementación de estas nuevas leyes, y el proyecto que estamos planteando queremos de una u otra forma ayudar a evitar la contaminación, dándole a un producto que ya cumplió su vida útil una transformación, para poderlo fusionar con otros elementos obteniendo productos de buena calidad que representen beneficios para la sociedad.

Se analizó la situación actual de generación de NFU en la Provincia del Azuay, dividiendo a los automotores que circulan en dicha provincia en dos grupos, vehículos pesados y livianos, con los cuales gracias a la AEADE se logró obtener las cantidades de neumáticos que dejan de circular al año, siendo el promedio anual de 4 093 300,65 kg/año, de lo cual nuestro cliente primordial la empresa Asfaltar perteneciente a la Prefectura del Azuay, a quienes luego de un análisis realizado se determinó que el promedio de polvo de caucho como un agregado de la carpeta asfáltica, será de un 75,5% de estos recambios de neumáticos, lo que nuestra producción tranquilamente abastecería a este mercado.

Hoy en día se han llegado a utilizar diferentes tecnologías en la obtención de polvo de caucho, teniendo en cuenta que cada tecnología tiene sus características propias, las cuales han sido estudiadas para entender cómo es que se realiza el proceso en cada uno de los sistemas para procesar neumáticos y obtener polvo de caucho, y de esta manera nosotros poder determinar y seleccionar los diferentes sistemas que aplicaremos en el diseño de nuestra línea de procesado.

Entre los procedimientos para tratar NFU podemos mencionar que para el proyecto planteado nos inclinamos en lo que se refiere a la transformación del NFU para aplicaciones en gránulos o polvos de caucho, ya que por la tecnología que necesita y las

variantes que puede tener el producto obtenido son varias, es el procedimiento ideal para nuestra línea de procesado.

Luego de analizar que procedimiento vamos a utilizar en nuestro proyecto, nos toco realizar un estudio y selección de los equipos de acuerdo a las tecnologías existentes, para lo cual se realizo un proceso de ponderación con varios criterios de selección de acuerdo a la importancia y el trabajo que iba a realizar cada maquinaria en la línea de procesado de los neumáticos fuera de uso, así también se tomo muy en cuenta las capacidades requeridas para la línea, de tal forma que se selecciono en total 10 equipos entre trituradores, molinos, bandas transportadoras, separadores magnéticos y basculas para el ensacado del producto final.

En el proyecto planteado cabe mencionar que el impacto ambiental se limitaría al almacenamiento de los neumáticos fuera de uso antes de ser procesados, pero dicho efecto se lo estaría corrigiendo con el triturador primario el cual nos permitirá reducir los volúmenes de almacenamiento de los mismos, siendo en este caso la trituración primario el proceso más sensible ya que de aquí se diría parte la materia prima transformada para toda nuestra línea de procesado.

Luego de un análisis de los resultados que se los realizo en el estudio económico, se puede determinar que el proyecto es totalmente viable, dado los resultados que se pueden apreciar en el flujo de caja y con los índices VAN y TIR.

## RECOMENDACIONES

Podemos mencionar que de nuestro producto proveniente del neumático en una primera etapa de trozado, sin separación de tela y metal, el material puede servir, por ejemplo, como combustible para cualquier tipo de caldera u horno que esté adaptado para quemar residuos sólidos sin contaminar el medio ambiente.

Además podemos decir que a partir de la separación de las partes del neumático se obtienen metal y residuos textiles reciclables, los cuales podrían ser un ingreso extra para nuestro proyecto ya que estos materiales ahora están siendo aplicados para darles un segundo uso en las industrias.

Dado que nuestro proyecto está enfocado en abastecer a la planta Asfaltar, podemos decir que si en futuro no muy lejano se incrementara la producción de polvo de caucho podemos apreciar que de acuerdo a la granulometría del mismo se pueden obtener otros usos como son por ejemplo: alfombras para piso, lomos de burro, amortiguación en canchas de césped sintético, picaderos para caballos de carrera, pisos de goma entre otros.

De las investigaciones realizadas se pudo determinar que en otros países existen empresas con equipos portátiles que realizan el trozado primario en el lugar de depósito, lo que facilita su traslado hasta el lugar de disposición final, permitiendo de esta forma transportar mayor cantidad de neumáticos por camión. Esta modalidad resulta una buena alternativa para evitar la instalación de plantas de tratamiento fijas donde no se justifique la inversión y para llegar a zonas poco pobladas del interior del país.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] SERRANO, ENCARNACION, y otros “Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso”, INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA, VT10, p 8
- [2] CASTRO, Guillermo, *Materiales y compuestos para la industria del neumático*, Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A., 2008, p 2
- [3] CASTRO, Guillermo. Op. Cit. p. 2. p. 6
- [4] Ficha técnica, NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU), 2010, p 10-11
- [5] BAZURTO, JOSE, y otros “Proyecto de rediseño de la cámara de molienda en molinos de martillos para la industria de alimentos balanceados acuícola”, Escuela Politécnica Superior del Litoral, p 2.
- [6] <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11394/3/Tesis%20completa.pdf>
- [7] <http://www.sri.gob.ec/DocumentosAlfrescoPortlet/descargar/5d7a6c62-6e1d-446a-95b9-3272e0fa1ce3/gen--003138.ZIP>
- [8] <http://www.monografias.com/trabajos35/caucho-sbr/caucho-sbr.shtml>
- [9] [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_5.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_5.html)
- [10] <http://materialesitcj.blogspot.com/>
- [11] [http://digital.csic.es/bitstream/10261/17979/1/NFU's\\_revision.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/17979/1/NFU's_revision.pdf)
- [12] <http://es.scribd.com/doc/71020671/Materiales-y-Compuestos-Para-La-Industria-Del-Neumatico>
- [13] <http://gomeriasantafe.com/datosutiles/datosutiles.html>
- [14] <http://www.elambienteenmedio.es/2008/03/una-nueva-tecnologia-permite-reciclar.html>
- [15] <http://www.elcomercio.com/deportes/carburando/Carburando-llantas-neumaticos>
- [16] [http://dc339.4shared.com/doc/c\\_31VuVe/preview.html](http://dc339.4shared.com/doc/c_31VuVe/preview.html)
- [17] <http://Reciclado y reutilización de neumáticos usados, MATAMOROS Bedia>
- [18] <http://www.AEADE.com>
- [19] <http://www.Prefectura del Azuay.com>
- [20] <http://www.madrimasd.org>
- [21] <http://www.Globalrecyclingequipment.com>

- [22] [http://www. UNTHA shredding technology.com](http://www.UNTHA shredding technology.com)
- [23] <http://www.ingenieriaquimica.es>
- [24] <http://tritadoras-de-roca.com/wiki/Molino-de-martillos-segunda-mano.html>
- [25] <http://www.jkmagnetics.com/overband.html>
- [26] <http://www.TCHOBANOGLIOUS, George, desechos sólidos principio de ingeniería.com>
- [27] <http://nicbin.com/archives/portfolio/tromel-clasificador>
- [28] <http://ebookbrowse.com/tema-6-cribado-pdf-d343131558>
- [29] <http://www.Catalogo Técnico RULMECA.com>
- [30] <http://www.maskepack.com>
- [31] <http://www.tritotutto.com>
- [32] <http://www.Eclipsemagnetics.com>
- [33] <http://www.Eco-green equipment.com>
- [34] <http://www.ebookbrowse.com>
- [35] <http://www.payper.com>
- [36] <http://www.Promodel 7.com>

# ANEXOS

## ANEXO A

### A1. Bandas transportadoras

**+K**epack

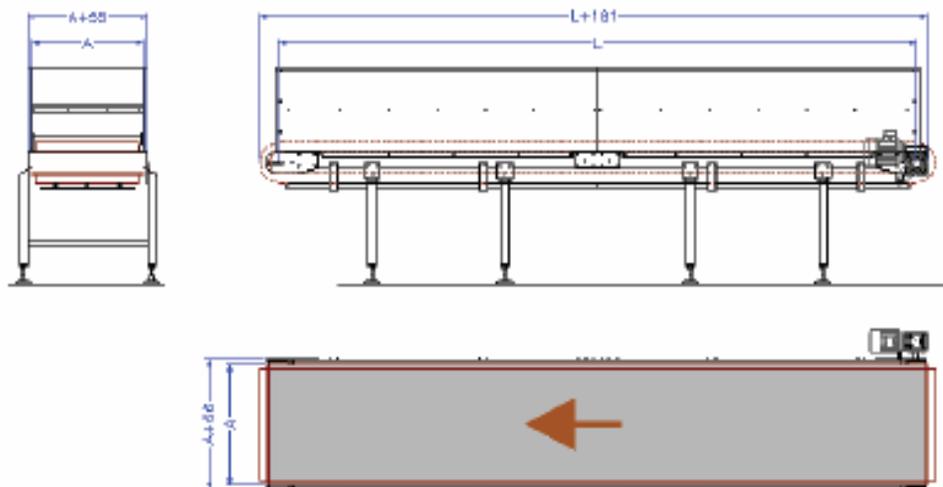
**TKB-10**

Transportador de banda para cargas semipesadas



#### DESCRIPCIÓN DE LA CINTA

- Cinta para el transporte de cargas elevadas, ideal para la evacuación de maquinas y la alimentación de molinos de triturado.
- Posibilidad de fabricar la cinta con inclinación o inflexión, añadiendo pretolva de carga y tolva de descarga.
- Opción de colocar pies de soporte y guías laterales.
- Opción de escoger entre diferentes materiales de bastidor, guías, banda, motorización, pies, etc.
- Maquina estándar para la confección de líneas de transporte de paquetería.

**Transportador de banda para cargas semipesadas****CARACTERÍSTICAS DE LA CINTA**

- Longitud entre centros de tambores (L)	- 1000 a 20.000mm
- Ancho de banda (A)	- 500 a 1500mm
- Diámetro de tambor motriz	- 100mm
- Diámetro de tambor tensor	- 100mm
- Motorización	- Extrema (en posición vertical u horizontal)
- Velocidad	- 5 a 100 metros/minuto
- Bastidor	- Hierro / Inox / Aluminio
- Guías laterales	- Fijas o regulables
- Capacidad de carga máxima	- 350 Kg
- Pies	- Regulables $\pm 50$ mm.

## ANEXO B

### B1. Trituradores de dos ejes Eco-Green

#### TRITURADORES COMERCIALES DOS EJES



## ECO GREEN EQUIPMENT

### ECO Two Shaft Shredders –TS series

Eco Green's two-shaft shredders are designed with an aggressive low RPM, high torque shredding technology. The shredder blade thickness ranges from 1" to 3" (25 mm to 76 mm) depending on the type of tires, throughput, and desired end product. The Eco 86 TS shredder can process car tires at a rate of up to 3 tons an hour

#### ECO 86 TS

Motor Specifications	Electric
Number of Motors	2
HP/KW	60 HP/44 KW
Voltage	as per customer request
Cutting Chamber	Split Chamber(options available)
Large Blade Thickness	50 mm/2 in
Small Blade Thickness	25 mm/1 in
Blade Diameter	754 mm/30 in
Cutting Chamber L x W	1204 x 776 mm/47 x 30 in
Equipment Dimensions L x W x H	2270 x 776 x 3680 mm/89 x 30 x 144 in
Equipment Weight	7,100 Kg/15,000 lbs
Input Capacity	2-3 ton/hr
Product Size Range	50 mm Strips-25 mm chips

**1-801-505-6841**

[www.egtireshredders.com](http://www.egtireshredders.com)



## B2. Trituradores de dos ejes Tritotutto



**TRITOTUTTO**

Proyecto y fabricación de máquinas para la trituración



Trituradoras de 2 árboles: Modelo B-70/120S

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

- Cámara de corte: 690x1200 mm
- potencia instalada: 22 KW + 22 KW
- transmisión: por engranajes por reductores en baño de aceite
- número de ejes fresas: 2
- número de fresas templadas: 30
- Diámetro fresas: 430 mm
- Espesor fresas: 40 mm
- número de peines distanciadores: 30
- n° de rev./min. fresas: 16
- producción: 2-3 t/hora
- equipamientos de seguridad: parada de emergencia, sistema de inversión en caso de carga excesiva
- realización conforme a las normas CE

### ACCESORIOS A PEDIDO:

- tolva intercambiable ;
- cinta transportadora de carga y descarga;
- bastidor a medida.

### RECOMENDACIONES DE USO:

Máquina polivalente apta para triturar numerosísimos materiales, tanto de desecho como no. Se puede montar en línea para funcionar de manera continua. Recomendada para

triturar trozos de madera, trapos, plástico, colambre, neumáticos, papel, cartón, embalajes, cintas de polietileno, películas plásticas, etc.

#### CARACTERÍSTICAS DEL TRITURADOR:

- Soporte de chapa de acero soldado eléctricamente de elevado espesor;
- Soportes para rodamientos de rodillos en rótula con sistema de estanqueidad contra polvos y líquidos;
- Árboles de elevado espesor con 30 fresas de acero especial antidesgaste y 30 sectores distanciadores para facilitar la salida del material triturado;
- Nueva colocación gradual dientes fresas para una mejor toma y progresión de corte.
- N.2 reductores epicicloidales en baño de aceite con ejes de rotación paralelos al eje de la fresa;
- N.2 motores de 22 KW (44 kW totales);
- Sistema de transmisión en baño de aceite con engranajes y piñones de acero;
- Cámara de corte con dimensiones de 680x1200 mm.;
- Tolva de chapa para la carga desde arriba;
- Bastidor de acero dotado de redes de protección y preparación para la cinta transportadora.
- Peso: 7300 kg.

#### CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL:

- Cuadro eléctrico según la norma CEE dotado de limitador de par que invierte el movimiento de las fresas en caso de que la carga de trabajo de la máquina supere el valor programado
- PLC SIEMENS S7-1200 para el control de todas las periféricas de la instalación;
- Display touch screen SIMATIC SIEMENS para la regulación de todos los parámetros de la máquina;
- Software para el comando de los sistemas de carga, molino refinador y sistema de aspiración;
- Funciones de control de emergencia para la parada de la instalación en caso de introducción accidental de material ferroso.
- ISVE MAINTENANCE PROGRAM: sistema de control para aspiración de los mantenimientos señalado sobre touch screen
- La fabricación de material granulado varía en relación con el tipo de piezas a moler y de las piezas que se desea obtener. En línea de máxima, se puede hipotetizar una producción de 1,4-2 t/hora
- **Ejecución según las normas CE.**

Via S. Martino, 39 - 25020 Borgo Poncarale (BS) Italy - Tel.+39-030-2540.351 - Fax.+39-030-2640.874 - E-mail: [headoffice@isve.com](mailto:headoffice@isve.com)  
<http://www.tritotutto.com>

### B3. Trituradores de dos ejes Global Recycling Equipment



#### Industrial Shredder Prices

Prices vary based on the hp, gearbox and blade configuration. All shredders are available with custom options such as specific hp motors, specific ratio gearboxes and custom cut sizes. Please contact us for details.

The pricing below is the pricing that we provide to clients that buy on a direct basis from our group. Typically these prices are used as the bottom line cost to sell. Purchase price from our group must be confirmed for each project before final purchase from the client.

#### **Basic specifications for all shredders below:**

Dual shaft shear shredder, electric drive, dual drive design

Boneng gearboxes or equal. Siemens motors or equal

Telemecanique electronics or equal

SKF bearings or equal

Forged 4140 - 4340 hex shafts or equal

Forged 4140 - 4340 cutters and spacers or equal

1750 rpm input on motors, 3 phase industrial motors

All prices are Ex-Works

**Model: Eidal 6340, or Shred-Pax AZ-80**

Total height: 2670mm (105.12 inches)

Total width: 2240mm (88.19 inches)  
Total length: 4020mm (158.27 inches)  
Cutting Chamber:  
Length: 1600mm (63 inches)  
Width: 950mm (37.40)

Center to Center: 400mm (15.74 inches)

Power: 2x 45kW (2x 60hp)  
RPM: 11  
Number of blades: 32  
Standard cut size: 50mm (1.97 inches)  
Optional cut sizes: 40mm (1.57 inches)  
Weight: 14100kg (31085.18 lbs)

Price range:  
125 000USD Light Duty  
150 000USD Medium Duty  
175 000USD Heavy Duty

Global Recycling Equipment, 318 Portland Ave, Town of Mount Royal, Quebec, Canada, H3R 1V5  
[www.globalrecyclingequipment.com](http://www.globalrecyclingequipment.com)

## ANEXO C

### C1. Trituradores de cuatro ejes Tritotutto

#### TRITURADORES COMERCIALES CUATRO EJES



**TRITOTUTTO**

Proyecto y fabricación de máquinas para la trituración



Triturador de 4 arboles: Modelo 120130S-MAX

La trituradora de 4 arboles “pesada” 120/130S-SERIE MAX tiene una boca de carga de 1.200x1.300mm y lleva montados, además de las fresas de corte, dos arboles conductores. Esta trituradora lleva 4 motoreductores con potencia total de 81 kW y desarrolla una elevadísima potencia de corte.

La serie “MAX” es estudiada expresamente para trabajar materiales particularmente difíciles en el sector del reciclaje.

#### CARACTERISTICAS PRINCIPALES:

- Potencia total instalada: 90 kW / 104 kW (central hidráulica)
- Trasmisión: por engranajes
- Número de ejes fresas: 2
- Número de fresas templadas: 30 espesor 40 mm (espesores disponibles también de 50 a 70 mm)

- Número de ejes de introducción: 2
- Número de discos de introducción: 30 espesor 40 mm a 4 picos.
- n° de rev. / min. fresas: 18
- Producción: 2-4 t/hora
- Auxiliares: central hidráulica con criba intercambiable.
- Equipamientos de seguridad: parada de emergencia, contacto de cierre tolva
- Peso: 10 t
- Realización conforme a las normas CE

#### RECOMENDACIONES DE USO:

Máquina pesada apta para para trabajar materiales particularmente difíciles. Gracias a la elevada copia de corte este modelo es idóneo para trabajar como pre-trituradora singular para elementos voluminosos y como trituradora secundaria para el control del tamaño a través de la rejilla de evacuación.

Recomendada para triturar parachoques de coches y camiones, depósitos de polipropileno, desechos voluminosos, neumáticos, pieles, trapos, bidones metálicos, desechos hospitalicios, desechos navales, etc.

#### CARACTERÍSTICAS DEL TRITURADOR:

- Soporte de chapa de acero soldado eléctricamente de elevado espesor;
- Soportes para rodamientos de rodillos en rótula con sistema de estanqueidad contra polvos y líquidos;
- Árboles de elevada resistencia;
- N. 30 fresas de acero especial antidesgaste de 40 mm de espesor con 2 “picos”;
- N. 30 discos de introducción para facilitar la toma de los cuerpos voluminosos, espesor 40 mm 4 ”picos”;
- N. 2 reductores epicicloidales para el accionamiento de los ejes de la fresas;
- N. 2 reductores epicicloidales para el accionamiento de los ejes de introducción;
- N. 2 motores “Siemens” de 30 o 37 kW para el accionamiento de los ejes de las fresas;
- N. 2 motores “Siemens” de 15 kW para el accionamiento de los ejes de introducción;
- Cámara de corte con dimensiones de 1200x1300 mm.
- Rejilla intercambiable con servomando hidráulico para facilitar las operaciones de mantenimiento y sustitución;
- Tolva reforzada de chapa soldada eléctricamente preparada para realizar la carga por “araña”

- Base en tubulares de acero soldados eléctricamente provista de redes de protección y micro de seguridad.

#### CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL:

- Cuadro eléctrico según la norma CEE dotado de limitador de par que invierte el movimiento de las fresas en caso de que la carga de trabajo de la máquina supere el valor programado
- Tarjeta interna principal para el control de todas las periféricas de la instalación;
- Display touch screen de colores para ajustar todos los parámetros de la máquina y controlas las periféricas.
- Software preparado para comandar los sistemas de carga, el molino refinación y el equipo de aspiración.
- Funciones de control de emergencia para la parada de la instalación en caso de introducción accidental de material ferroso.
- La fabricación de material granulado varía en relación con el tipo de piezas a moler y de las piezas que se desea obtener. En línea de máxima, se puede hipotetizar una producción de 2-4 t/hora.
- Peso: 12.5 t.
- Ejecución según las normas CE

Via S. Martino, 39 - 25020 Borgo Poncarale (BS) Italy - Tel.+39-030-2540.351 - Fax.+39-030-2640.874 - E-mail: [headoffice@isve.com](mailto:headoffice@isve.com)  
<http://www.tritotutto.com>

## C2. Trituradores de cuatro ejes Guangzhou 3E



CARACTERISTICAS	FS8040	FS8060	FS8080	FS10080	FS100100	FS100120
A(mm)	424	614	842	820	1020	1220
B(mm)	762	952	1180	2450	2650	2850
C(mm)	1610	1840	2050	1280	1480	1680
D(mm)	2200	2200	2200	1460	1460	1460
E(mm)	1195	1195	1195	1180	1180	1180
F(mm)	950	950	950	1270	1470	1670
G(mm)	820	820	820	800	800	800
H(mm)	1940	1940	1940	2550	2550	2550
I(mm)	1082	1272	1490	1020	1020	1020
Diámetro de rotación de la cuchilla principal (mm)	Ø245	Ø245	Ø245	Ø320	Ø320	Ø320
Diámetro de rotación de la cuchilla auxiliar (mm)	Ø270	Ø270	Ø270	Ø320	Ø320	Ø320
Velocidad del eje principal (rpm)	25	25	25	15-25	15-25	15-255
Cantidad de cuchillas principales (pcs)	20	30	42	20	25	30
Cantidad de cuchillas auxiliares (pcs)	20	30	42	20	25	30
Espesor del cuerpo de cuchilla (mm)	18.5	18.5	18.5	40	40	40
Potencia de la máquina principal (kw)	7.5+7.5	11+11	11+11	15+15	18.5+18.5	22+22
Diámetro de agujero de malla de tamiz (mm)	15	20	25	4500	5000	5500
Peso de equipo (kg)	1600	1800	2000			

Guangzhou 3E Maquinaria S.A.

Domicilio: No.01 Habitación, No.21 de Casa de máquina de Shigangling, Calle de Xinguang, Pueblo de Xinzao, Distrito de Panyu, Guangzhou

Tel.: +86-20-28677899/84557960 Fax: +86-20-84557969/84729983

E-mail: [sales801@3e-recycling.com](mailto:sales801@3e-recycling.com)

[www.3e-recycle.com](http://www.3e-recycle.com)



### C3. Trituradores de cuatro ejes Mingxin

#### ***Mx - 900\*1250 4***



#### ***Datos del producto***

##### Datos básicos

<b>Lugar del origen:</b>	China (continente)	<b>Marca:</b>	Mingxin
<b>Número de Modelo:</b>	MX-900*1250	<b>Tipo:</b>	desfibradora
<b>peso (kilogramos):</b>	5200	<b>Dimensiones (L*W*H):</b>	2850*1450*2800m m
<b>Energía del motor (kilovatios):</b>	22*2	<b>Tamaño de la alimentación (milímetros):</b>	900*1025
<b>Grados machacados (milímetros):</b>	5-40	<b>Velocidad (r/min):</b>	30
<b>Capacidad (t/h):</b>	3-5	<b>Precio</b>	US \$18,000 - 58,000 / Sistema

[www.spanish.alibaba.com](http://www.spanish.alibaba.com)

## ANEXO D

### D1. Separadores magnéticos Sanme

#### SEPARADORES COMERCIALES MAGNETICOS



#### Características

Modelo	Anchura de banda(mm)	Altura determinada(mm)	Intensidad del campo magnético(mT)	Espesor de material (mm)	Capacidad de motor(kw)	Velocidad adaptable (m/s)	Peso(kg)	Dimensión general (LxWxH)mm		
RCYD-5	500	150	60	80	1.5	4.5	750	1900	735	935
RCYD-6.5	650	200	70	150	2.2	4.5	1200	2165	780	1080
RCYD-8	800	250	70	200	2.2	4.5	1400	2350	796	1280
RCYD-10	1000	300	70	250	3.0	4.5	2120	2660	920	1550
RCYD-12	1200	350	70	300	4.0	4.5	3350	2900	970	1720
RCYD-14	1400	400	70	350	4.0	4.5	4450	3225	1050	1980

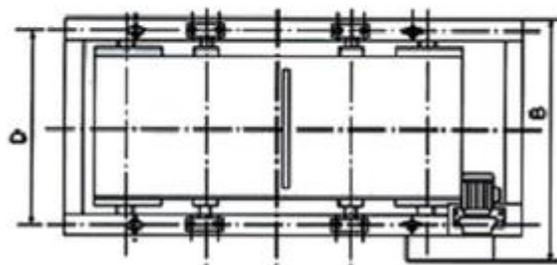
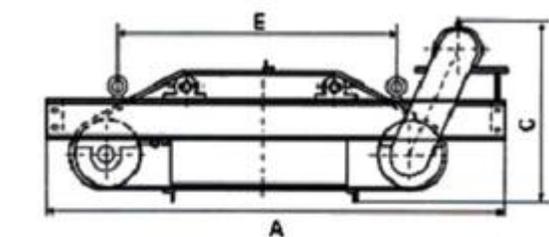
<http://es.sanmecrusher.com/products/feeding/Magnetic-Separator.html>

## D2. Separadores magnéticos RCYD

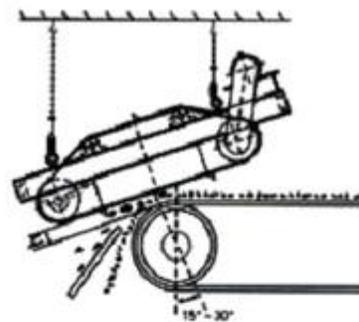


RCYD(C) series permanent magnetic self-cleaning separator by high-performance NdFeB rare earth permanent magnet core, abandoned iron belt, reducer motor, frame, rollers and other parts of composition, with a variety of conveyor supporting the use of. Ferromagnetic material is clear from a non-magnetic materials. It is an automatic unloading iron iron removal equipment, work will continue to adsorption in the separator on the ferromagnetic material is automatically thrown by unloading iron belt rotation, so as to achieve the purpose of the automatic unloading of iron. The model a wide range of applications, energy saving, easy maintenance, the failure rate is very low, stable and reliable operation in extremely harsh environment, many manufacturers use more models.

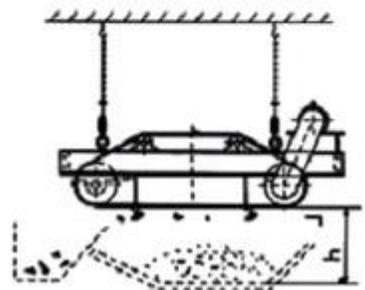
Dimensional sketches and installation sketches:



Dimensions



Installation diagram(tilt)



Installation diagram(level)

MODEL	ADAPTIVE BELT WIDTH mm	SUSPENSION HEIGH h=mm	MATERIAL THICKNESS ≤mm	MAGNETIC INTENSITY ≥mT	DRIVE POWER ≤KW	ADAPTIVE BELT SPEED ≤m/s	WORK FORM	WEIGHT kg	OVERALL DIMENSION mm				
									A	B	C	D	E
RCYD (C)-5	500	150	100	65	1.5	2.5	CONTI NUOUS	750	1900	735	935	753	950
RCYD (C)-6	600/650	180	130	65	1.5			920	2050	780	1030	753	1100
RCYD (C)-6.5	650	200	150	70	1.5			1200	2165	780	1080	888	1200
RCYD (C)-8	800	250	200	70	2.2			1400	2350	786	1280	1088	1300
RCYD (C)-10	1000	300	250	70	3.0			2120	2660	920	1550	1335	1400
RCYD (C)-12	1200	350	300	70	4.0			3350	2860	1010	1720	1515	1550
RCYD (C)-14	1400	400	350	70	4.0			4450	3225	1050	1980	1755	1800
RCYD (C)-16	1600	450	400	70	5.5			6200	3350	1180	2160	1850	1950
RCYD (C)-18	1800	500	450	75	5.5			8100	3580	1210	2450	2130	2200
RCYD (C)-20	2000	550	500	75	7.5			9700	3800	1300	2700	2400	2410

[http://www.magneticseparators.com.cn/\\_d275540372.htm](http://www.magneticseparators.com.cn/_d275540372.htm)

### D3. Separadores magnéticos Huaxín

#### Datos básicos

Condición:	Nuevo	Tipo:	Separador magnético
Lugar del origen:	China (continente)	Marca:	huaxín
Número de Modelo:	Rcyd	El modelo no.:	Rcyd ( c ) - 12
de adaptación de ancho de la cinta:	1200mm	altura de la suspensión:	≤350mm
intensidad magnética:	≥320mt	espesor de los materiales:	≤300mm
potencia del motor:	4.0kw	cinturón de adaptación de la velocidad:	4.5m/s
tipo de servicio:	Continua	de peso:	3050kg
esquema de las dimensiones mm:	A2860*b1010*c1720*d1550*e1515		

#### Especificaciones

La industria del cemento suspendido separador magnético del imán permanente para la industria del cemento auto - limpieza correa cruzada de imán

#### Introducción:

La serie rcyd magnético permanente separador suspendido se compone de imanes permanentes, de hierro - de limpieza del cinturón, unidad de motor eléctrico, la reducción de motor eléctrico, el marco, dos tambores etc. It es ampliamente utilizado en conjunto con diversos tipos de cinturón de cintas transportadoras para auto iron removal desde no - materiales magnéticos en servicio continuo ocasiones with plenty of iron. Este machine is suspended above la cinta transportadora for attracting ferrosos a partir de elementos no - materiales magnéticos y limpiar los elementos ferrosos de forma automática. This machine es ampliamente utilizado en el cemento, los productos químicos, los plásticos, carbón, refractario, los materiales de construcción, alimentos y otras industrias.

#### Características:

1. excelente intensidad del campo magnético, por lo general las ocasiones used in mucho con hierro.
2. la estructura totalmente sellada hace que el separador de agua - una prueba, el polvo - la prueba y resistente a la corrosión.
3. bajo consumo de energía.
4. fácil de instalar y conveniente para el uso.
5. de alta eficiencia y un rendimiento estable.
6. high processing capacidad.
7. buena fiabilidad operativa y la flexibilidad.

## ANEXO E

### E1. Molino mecánico Eco-Green



#### ECO G2-AG

Los ECO Granuladores están diseñados para moler o granular el “mulch” de caucho proveniente del ECO Grater y obtener pequeños gránulos tan finos como malla # 20. Los gránulos son clasificados y recirculados, según su tamaño hasta que su tamaño deseado sea alcanzado. Durante el proceso completo de la molienda o la granulación, el 95% de la fibra es quitado, obteniendo un gránulo de caucho libre de contaminantes, listo para ser llevado a un proceso posterior o para su venta.

Especificaciones del motor	Eléctrico
Cantidad de motores	1
Potencia HP/KW	60 HP/45 KW
Voltaje (Trifásico)	según necesidad del cliente
Cámara de trituración L x A	1000 x 580 mm (40 x 23 pulgadas)
Dimensiones del equipo L x A x Alto	1900 x 1765 x 2435 mm (75 x 70 x 96 pulgadas)
Peso del equipo	3.300 Kg (7.275 Lbs)
Capacidad de alimentación	Hasta 500 Kgs/Hora
Rango de tamaños de producto	6 mm – 1 mm (1/4” – 20 Mesh)

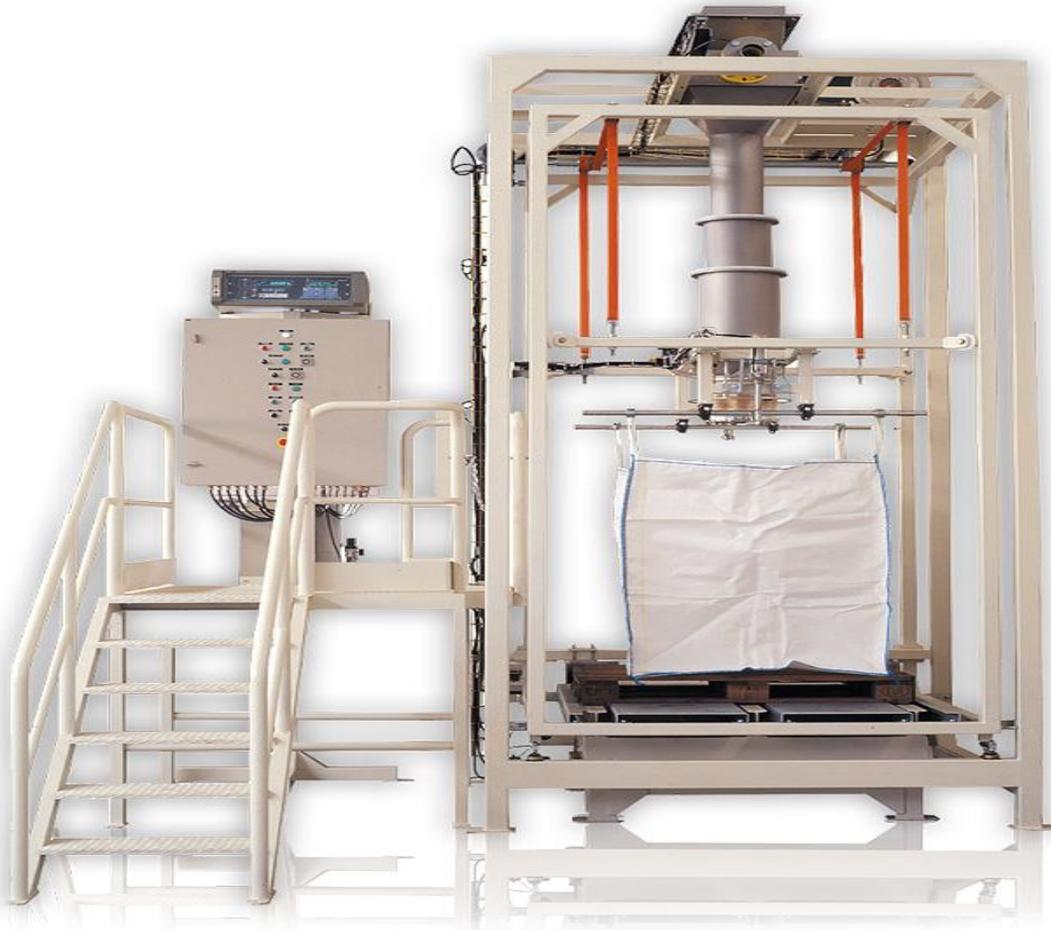
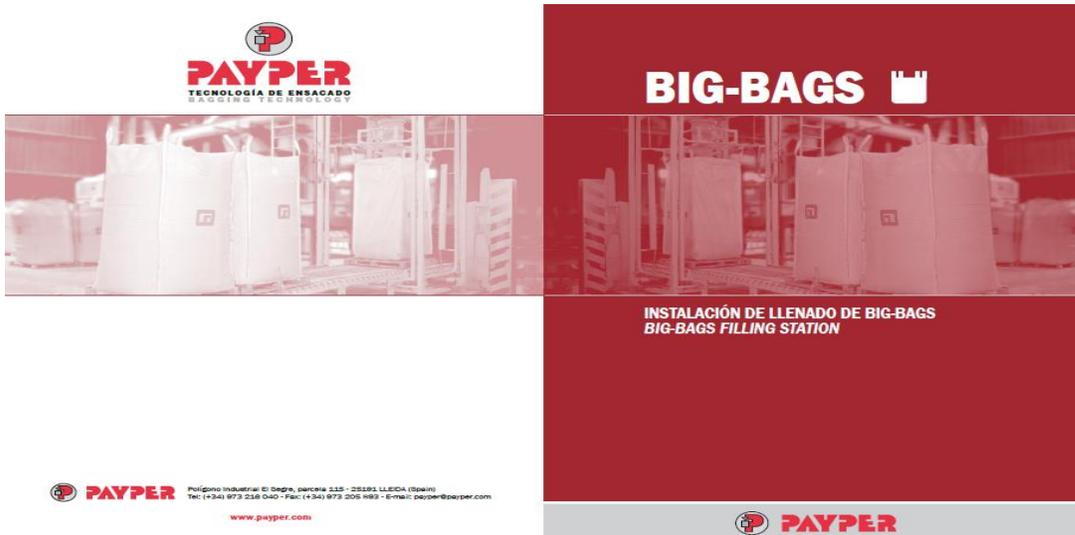
**1-801-505-6841**

[www.egtireshredders.com](http://www.egtireshredders.com)



## ANEXO F

### F1. ENSACADORA PAYPER





**1. Sistema de dosificación**

El tipo de dosificación se instalará en función de las características del producto a envasar.

**Dosing systems**

Different dosing systems can be installed depending on the product to be filled.

**2. Inflado del Big-Bag**

Se realiza mediante un generador de aire y se utiliza siempre cuando el Big-Bag dispone de bolsa interior de polietileno.

**Big-Bag inflating**

It is done through an air generator and is used when Big-Bag incorporates an inner polyethylene bag.



**3. Sistema de regulación de altura**

Está compuesto por un marco interior donde se ubican los ganchos para la sujeción de las asas del Big-Bag.

Dicho marco se desplaza verticalmente sobre guías y su accionamiento es motorizado y a través de correas.

Cuando se instala este sistema, el tubo de caída de producto se fabrica telescópico.

**Height regulation system**

It is composed by an internal frame where hooks for Big-Bag supporting are placed. This frame moves on guiding wheels in a vertical way and it is driven by motor through belts. Filling pipe is telescopic when this system is installed.



**4. Pasarela de servicio**

Ubicada en un lateral de la máquina es la zona de trabajo del operario. Desde allí tiene acceso al armario de control y al equipo de pesaje. La plataforma es retráctil sobre ruedas para facilitar al operario las funciones de enganche y desenganche de los Big-Bags.

**Service gangway**

It is placed beside the machine. This is the operator working area, and includes both the electric cabinet and weight controller. Platform moves on guides to make easier Bigbags hanging and taking down tasks.



**5. Vibración**

Bajo la plataforma de pesaje se instala un sistema de compactación ideal para productos de difícil asentamiento.

Dicho sistema queda aislado de la plataforma de pesaje, a efectos de evitar errores en la lectura del peso.

**Vibrating device**

A vibrating system is placed under the weighing platform. This is very useful for products with high angle of repose and difficult setting. System is isolated from the weighing platform in order to avoid weighing errors.

**6. Ganchos neumáticos**

Facilitan las operaciones de enganche y desenganche de los Big-Bags.

**Pneumatic hooks**

They make easier Bigbags hanging and taking down tasks.



Big-Bag hooks with motorized displacement  
Big-Bag hooks with motorized movement



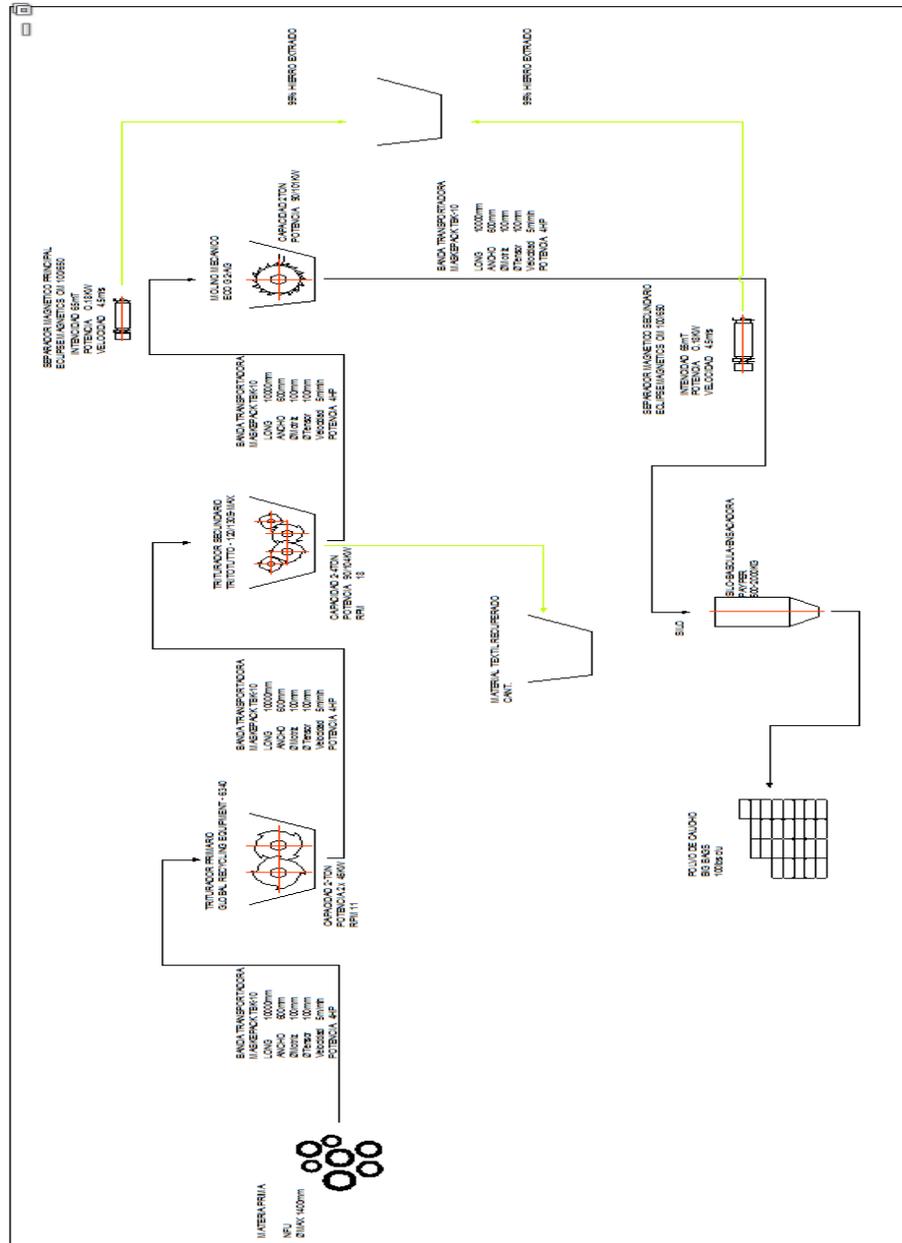
Ubicación de bandeja de Big-Bags  
Big-Bag Weighing platform



Bolsa Big-Bag para sujeción. Muestra sistema de apoyo al peso inflado Big-Bag para sujeción. System that supports the inflated Big-Bag weight for hanging.

# ANEXO G

## G1. Layout de la línea de procesado.



## ANEXO H

### Resultados de simulación mediante software Promodel 7

#### H1. Utilización de locaciones

General Report (Normal Run - Rep. 1)

General | Locations | Location States Multi | Location States Single | Resources | Resource

**SIMUL TESIS .MOD (Normal Run - Rep. 1)**

Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down
ALM NFU	200,00	0,02	99,98	0,00	0,00
BANDA 1	200,00	0,00	100,00	0,00	0,00
TRIT PRIM	200,00	0,05	0,45	99,50	0,00
BANDA 2	200,00	14,30	85,70	0,00	0,00
TRIT SEC	200,00	5,66	4,77	89,57	0,00
BANDA 3	200,00	15,39	84,61	0,00	0,00
MOLINO MEC	200,00	0,96	4,40	94,63	0,00
BANDA 4	200,00	5,77	94,23	0,00	0,00
EMBASADORA	200,00	98,78	1,23	0,00	0,00
DESM PRIM	200,00	5,37	0,67	93,96	0,00
DESM SEC	200,00	0,22	0,57	99,20	0,00
ALM SACOS VAC	200,00	0,00	100,00	0,00	0,00
ALM BIG BAGS	200,00	0,14	99,86	0,00	0,00
CAMION	200,00	100,00	0,00	0,00	0,00
ALM HIERRO	200,00	0,53	99,47	0,00	0,00
ALM TEXTIL	200,00	0,12	99,88	0,00	0,00

#### H2. Almacenamiento de big bags

