

**Diseño y Construcción de un Molino para el pulverizado de caucho de llanta por medio de criogenización**

**Presentado por:**

**Anderson Virgüez Gómez**

**Cód. 20162375005**

**Cristhian Fernando Mahecha Tinoco**

**Cód. 20162375047**

**Tutor de proyecto:**

**PhD. Camilo Andrés Arias Henao**

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Facultad Tecnológica  
Ingeniería Mecánica**

## **1. Planteamiento del problema**

El polvo de caucho es un insumo obtenido del proceso de reciclado de las llantas en desuso, principalmente, por medio de un proceso de pulverizado, este polvo de caucho se utiliza en procesos de fabricación de: pisos, tapetes, calzado y señalización vial entre otros. Estas aplicaciones van relacionadas con el tamaño de partícula que posea el polvo de caucho; entre más pequeño sea el tamaño de partícula obtenida por el proceso de pulverizado, las aplicaciones del polvo de caucho aumentan debido a su facilidad de homogenizar con mezclas de proceso.

Actualmente en Colombia se desechan más de 5 millones de toneladas por año [1], esto equivale a 100 000 Toneladas de residuos a base de caucho, el cual al no ser biodegradable presenta un problema ambiental. Actualmente el país cuenta con diversas organizaciones que utilizan estas llantas para extraer sus componentes: Acero, Fibra poliéster y caucho, este último se procesa por medio de picado, molido y pulverizado por medios directamente mecánicos, polvo de caucho de 40Mesh [2].

Para un posible desarrollo de esta tecnología se buscan parámetros de estudio iniciales, entre ellos la evaluación energética que es uno de los puntos importantes a la hora de presentar un panorama de desarrollo y debido a la falta de investigación o maquinaria en cuanto al proceso de pulverizado criogénico que permita llegar hasta un tamaño de partícula cercano o similar a 300Mesh en el país, dicha evaluación energética no se encuentra en un contexto local para dar base o pie a fundamentos de desarrollo.

## 2. Justificación

La utilización de materiales recuperados y reciclados de otros procesos industriales o por la disposición final de diferentes productos, genera un alto atractivo hoy en día ya que el cambio climático se está tornando tan evidente y los esfuerzos que se realicen frente a mitigar los impactos presentados, conceden un valor agregado de alto atractivo para posibles inversiones económicas en el país

Por medio de este proyecto de grado se busca brindar un modelo energético de análisis, para dar un punto de partida en el desarrollo de la tecnología de pulverizado criogénico de caucho en el país, gracias a que el objetivo de diseño de la maquina a desarrollar pulveriza el caucho de las llantas por medio de la utilización de procesos criogénicos para facilitar el pulverizado del caucho, logrando hasta un tamaño de partícula del orden de los 300Mesh [3]. con un menor gasto energético respecto al proceso realizado mecánicamente, permitiendo que se logre aplicar el polvo de caucho en los diferentes procesos industriales que requieren mayor homogeneidad y reducción en el tamaño de partícula del polvo de caucho, incrementando la demanda de caucho que se puede reciclar y al ser un proyecto que genera un como resultado un producto de investigación e innovación permite abrir una posibilidad de negocio e inversión.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Determinar el flujo energético del proceso de pulverizado criogénico de caucho por medio del diseño y construcción de un molino de pruebas en la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los factores de diseño involucrados en el proceso de pulverizado de polvo de caucho
- Definir el sistema de producción de pulverizado criogénico
- Construir un emplazamiento en función del sistema seleccionado
- Elaborar pruebas de funcionamiento del ensamble del sistema.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Llantas

Las llantas representan la etapa final en la tarea de funcionalidad de un vehículo ya que por medio de ellas se presenta la fricción que permite el desplazamiento del vehículo, las llantas están compuestas mayormente por:

Material	Composición (%)	
	Automóviles	Camiones
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Negro de humo	28	28
Acero	14	15
Antioxidantes y rellenos	17	16

Tabla No. 1 Composición de las llantas-Secretaría de Ambiente de Bogotá/ Guía para el manejo de llantas usadas - 2007

La fabricación de neumáticos concentran un gran porcentaje de la industria del caucho, este material pertenece al grupo de los elastómeros que son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al que se ven sometidos, retomando su forma original al momento de retirar el esfuerzo aplicado. El caucho natural se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* que es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes productos. Hoy en día alcanza el 30 % del mercado de los cauchos[4], el resto lo ocupan los cauchos sintéticos. Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son:

- Cauchos naturales (NR)
- Polibutadienos (BR)
- Estireno – Butadieno (SBR)
- Polisoprenos sintéticos (IR)

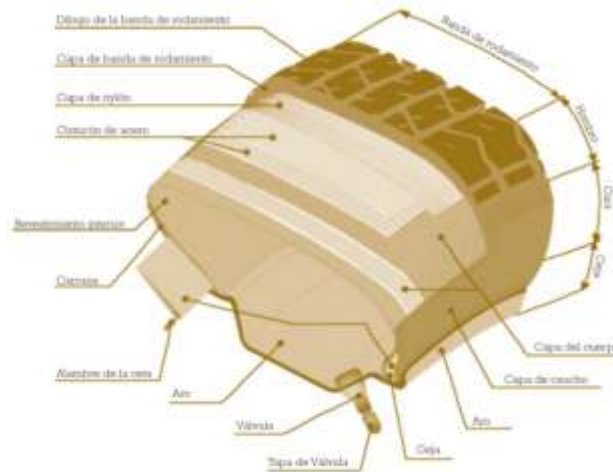


Figura No. 1. Partes de una Llanta. Composición de las llantas-Secretaría de Ambiente de Bogotá/ Guía para el manejo de llantas usadas -2007

Para el desarrollo de este proyecto se obtendrán fragmentos de caucho de llanta obtenidos de un proceso mecánico de molido previo, por parte de la empresa Caucho Dinámicos[2] para garantizar que en el proceso no intervengan materiales diferentes al caucho que se procesara.

## 4.2 Procesos de reducción de tamaño de materiales

Los procesos de transformación de forma de diferentes materiales están basados en procesos mecánicos donde por medio de transmisión de tipos de energía se logra un cambio en la forma del material inicial para obtener un producto más manejable de acuerdo a la necesidad, el proceso más común de transformación para procesos de mezclado y dosificación se basa en el manejo de materiales granulados o pulverizados, para los cuales se implementan maquinarias denominadas molinos y pulverizadores que varían de acuerdo a los tamaños de partícula requerida y el tipo de material a procesar.

### 4.2.1 Molienda.

La molienda es una operación de reducción de tamaño de materiales de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2.54 cm) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración. Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de cemento Portland, en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escorias, fabricación de harinas, alimentos balanceados, etc. [5].

Buscando siempre el máximo rendimiento en el trabajo de molienda del grano, el hombre ha ido desarrollando diferentes artilugios y máquinas que van desde un simple par de

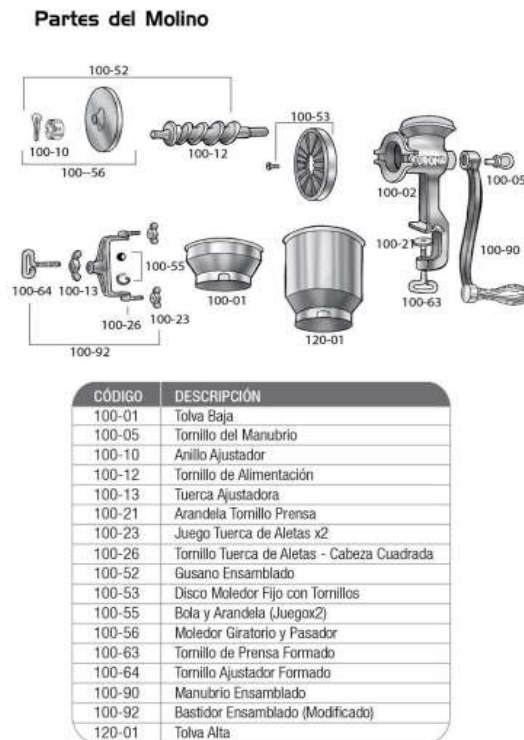
pedras para machacar hasta las tecnologías actualmente empleadas. Una clasificación elemental de los molinos harineros en función de la fuente de energía empleada para su funcionamiento, permite separarlos en:

- Molino de Sangre(Manuales)
- Molinos de Viento.
- Molino de Agua.
- Molinos Industriales(Eléctricos)

**4.2.1.1 Los molinos de sangre:** son aquellos que para su funcionamiento hacen uso de la fuerza animal o la fuerza del hombre. En este grupo encontramos desde el simple mortero de piedra de forma cóncava donde se realizaba la trituración del grano mediante repetidos golpes con un palo o maza, con su evolución al molino de piedra de vaivén mediante el que se conseguía una molienda más eficaz.

#### **4.2.1.2 Molino de granos manual**

Esta máquina tiene con función triturar granos. Estas funcionan haciendo girar un disco dentado fijo contra otro igual (disco moledor) que se mueve con la ayuda de una palanca. Para que los granos lleguen a los discos se deben depositar primero en una tolva, de donde caen posteriormente al tornillo sin fin que los transportará directo a los discos, este tornillo sin fin obtiene su movilidad gracias al manubrio que se gira manualmente. El producto final sale a través de los discos y se deposita en un recipiente cualquiera. Esta máquina está fabricada en hierro fundido y pulido a excepción del mango del manubrio que está hecho de madera. La forma del mango, está hecho de forma ergonómica para que sea fácil de sostener por la mano humana y no incomode u ocasiones lesiones, en la actualidad se ha llegado a reemplazar este manubrio por un juego de poleas y un motor eléctrico para hacer el proceso de manera automática[6]



*Figura No. 2 Componentes de un Molino manual de grano[6]*

**4.2.1.3 Los molinos de viento:** se basan en el aprovechamiento de la energía eólica para mover los mecanismos del molino harinero.

**4.2.1.4 Molinos Industriales(Eléctricos)**

**4.2.1.4.1 Molino de Martillo**

El primer molino de martillo se desarrollo con la necesidad de triturar el grano cosechado como el maíz o el trigo y este proceso se hacía golpeando el grano contra un mortero, por lo general era una piedra, con el pasar de el tiempo el mortero cambio por martillos más pesados, en la actualidad los martillos son ubicados horizontalmente sobre un eje que está girando, la fractura de lo que se esté moliendo se genera por el choque y corte entre los martillos y lo que se está triturando, el producto a triturar absorbe la energía potencial del martillo en la caída, dicha energía es la necesaria para triturar el producto, el material triturado sale por la parte inferior del molino.

**4.2.1.4.2 Molino de doble martillo**

El principio de funcionamiento de este tipo de molinos es el mismo al de martillos solo que este ya cuenta con dos ejes con martillos lo cual hace que el proceso sea más eficiente y con un molido más fino, este tipo de molinos son los usados en las plantas de



procesamiento de caucho en su etapa primaria pues es el molino ideal para realizar la separación del acero el poliéster y el caucho.[7]

#### **4.2.1.4.3 Molino Pendular**

El molino cuenta con péndulos que tienen rodillos en sus extremos que trabajan a gran presión moliendo el material contra un anillo de rodadura. La presión se crea a partir de la rotación a alta velocidad de la estrella de la cual cuelgan los péndulos. Este conjunto trabaja dentro de un flujo de aire en depresión generado por la aspiración de un ventilador principal. El flujo de aire transporta los finos hacia la parte superior del molino donde se encuentra el clasificador, el cual se encarga de controlar el tamaño máximo de partícula requerido en el producto final.

#### **4.2.1.4.4 Molino de Bolas.**

Molino de bolas es un equipo clave para el segundo paso en el proceso de transformación: Tras ser triturado, el material sufrirá otro procedimiento de trituración. Este equipo es ampliamente utilizado en los siguientes campos: cemento, productos de silicato, nuevos materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizante, metal negro y de color, cerámica y vidrio, etc.. Puede usarse para triturar de forma seca o húmeda diversas clases de minas y otros materiales que se puedan moler. En este sentido, la forma seca será para: materiales a prueba de fuego, cemento, fertilizantes y vidrio. Mientras la húmeda será para: minas, cerámica e industria química.

### **4.3 Proceso Criogénico**

"Criogénico" es un derivado de la palabra griega Kryos que significa "frío helado". No hay una sola temperatura a la fecha, que defina el comienzo de la región criogénica. A menudo, las temperaturas de -73 °C y menores se conocen como criogénico, aunque por lo general se reconoce -50 °C y más frío que el ajuste de la definición. Mientras que la criogenia es la rama de la física que se relaciona con la producción y los efectos de muy bajas temperaturas [8], un criógeno es el refrigerante que lo hace posible. una docena o más criógenos están disponibles; sin embargo, el nitrógeno (N<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se usan más comúnmente para procesos de reciclaje. La aplicación de criogenia para resolver problemas antiguos es una ciencia relativamente nueva. Los sistemas de propulsión de la era espacial desarrollados en los años 50 y 60 promovieron la criogenia más que cualquier otro uso. Al mismo tiempo, las industrias de alimentos de congelación tuvieron un rápido desarrollo. Luego, a principios de los 70', el uso de criogenia para el reciclaje de ciertos desechos sólidos se convirtió en un importante proceso comercial de alto interés. En menos de una década, millones de dólares se han invertido en la investigación y el desarrollo de este enfoque interesante y simple para los materiales de procesamiento. El principio fundamental del proceso criogénico es debilitar el material

mediante enfriamiento para fragilizarlos bajo el principio de que los materiales frágiles, cuando están sujetos a impactos, se romperán[9]

### 4.3.1 Nitrógeno Líquido

El nitrógeno se usa como gas inerte (es decir, desplazamiento del oxígeno del aire) en relación con el almacenamiento de productos químicos. Esto se hace para evitar el peligro de incendio o explosión o la desintegración de la materia prima durante oxidación. Otros campos de aplicación del nitrógeno líquido son el ajuste de la presión, las pruebas de presión, el corte por láser o congelación de productos.

Physical data	Gas type	Boiling Point	Latent heat of vaporization	Specific Heat Capacity (15° C)
	Nitrogen, N <sub>2</sub> , LIN	-196° C	198 kJ/kg	1,04 kJ/kg K
	<b>Conversion factors</b>		<b>Critical values</b>	
	1 nm <sup>3</sup> = 1,419 litre = 1,148 kg		Critical temperature -147,1° C	
	1 litre = 0,705 nm <sup>3</sup> = 0,808 kg		Critical pressure 33,9 bar	
	1 kg = 0,872 nm <sup>3</sup> = 1,237 litre		Critical density 0,311 kg/l	
	1 nm <sup>3</sup> = 1 m <sup>3</sup> at 15° C and 0,98 KPa.		The litre-designation is used for gas in its liquid phase.	

www.aga.se

Tabla No. 2 Ficha Tecnica Nitrógeno líquido[10]

### 4.3.2 Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono líquido es un medio de enfriamiento natural que se utiliza en un circuito cerrado. El dióxido de carbono es un medio de refrigeración ecológico en lugar de, p. ej. amoníaco y ciertos medios de refrigeración Basados en gases fluorados.

Physical data	Gas type	Boiling Point	Latent heat of vaporization	Specific Heat Capacity (15° C)
	Carbon dioxide, CO <sub>2</sub> , LIC	-78,5° C	348 kJ/kg	0,81 kJ/kg K
	<b>Conversion Factors</b>		<b>Critical Values</b>	
	1 nm <sup>3</sup> = 1,530 litre = 1,808 kg		Critical Temperature 31,04° C	
	1 litre = 0,652 nm <sup>3</sup> = 1,181 kg		Critical pressure 73,82 bar	
	1 kg = 0,553 nm <sup>3</sup> = 0,847 litres		Critical Density 0,468 kg/l	
	1 nm <sup>3</sup> = 1 m <sup>3</sup> at 15° C and 0,98 KPa.		The litre-designation is used for gas in its liquid phase.	

www.aga.se

Tabla No. 3 Ficha Tecnica CO<sub>2</sub>[11]

### 4.3.3 Molido Criogénico de Materiales Elásticos

Actualmente el proceso de molido y pulverizado se presenta como proceso para análisis químicos y de componentes en laboratorios, uno de estos casos es el de la empresa Retsch(R) que presenta su modelo CryoMill(R). que es un molino mezclador especialmente concebido para moliendas criogénicas. El recipiente de molienda es enfriado continuamente con nitrógeno líquido por el sistema de refrigeración integrado antes y durante el proceso de molienda. La muestra es fragilizada y los componentes volátiles se conservan. Esta tarea la realiza el sistema de auto llenado "Autofill", que dosifica siempre la cantidad exacta que se necesita para mantener la temperatura constante a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El esfuerzo mecánico aplicado para la trituración es el impacto, lo que la hace especialmente eficiente. El sistema de autollenado "Autofill" evita que el usuario tenga contacto directo con el nitrógeno líquido haciendo su operación muy segura.[12]

PALLMANN[13] suministra instalaciones de molienda criogénica estándar para temperaturas inferiores a  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un diseño compacto. PALLMANN ha desarrollado esta tecnología en sus propias instalaciones de molienda personalizadas. Las instalaciones de molienda criogénica se utilizan para:

- Poliéster
- Elastómeros
- Copolímeros
- Caucho sintético
- Polímeros sensibles al calor
- Materiales compuestos
- Éter de celulosa
- Aromático
- Muy aceitoso
- Grasiento
- productos sensibles a la temperatura

Las diferentes industrias que utilizan el proceso de molido y pulverizado criogénico tienen presencia y actividad en países extranjeros, lo cual no permite la implementación a gran escala de este proceso que presenta una solución oportuna para abrir las oportunidades de reutilización del caucho de llanta.

#### 4.4 Proceso de recuperación criomecánica

A mediados de la década de 1980, la técnica de trituración de residuos de caucho por medio de proceso criomecánico fue desarrollada. Este proceso de recuperación consiste en colocar pequeñas piezas (1"x1"x1/2") de caucho vulcanizado en nitrógeno líquido que se transfieren a un molino de bolas y en presencia de líquido nitrógeno para formar un polvo fino. El tamaño de partícula del caucho crio-molido varía de 30 a 100 mesh para la mayoría de los productos. El tamaño de partícula está controlado por el tiempo de inmersión en el nitrógeno líquido y por el tamaño de malla de las pantallas utilizado en la cámara de molienda de la fábrica.

##### 4.4.1 Usos del caucho criogénicamente molido

El caucho triturado criogénicamente se utiliza en neumáticos, mangueras, correas mecánicas, alambres y cables y en varias otras aplicaciones. Es especialmente útil en la producción de productos para revestimientos interiores de neumáticos. El tamaño de partícula elegido se controla por el costo y la finura necesarios para producir el procesamiento deseado. Cuanto más fino es el tamaño de partícula, más suaves son las hojas calandradas y más fino es el borde que se puede producir en las extrusiones.[14]

En el procesamiento de caucho molido criogénicamente, ciertos tamaños de partículas son más adecuados en aplicaciones específicas.

- **Extrusión:** se necesita una malla de 80-100 mesh criogénicamente de goma para evitar fractura y bordes ásperos. En la extrusión de la sección gruesa 50-60 de malla se puede usar caucho criogénicamente molido dependiendo de la superficie y suavidad del producto final. El nivel óptimo del grano de caucho criogénico que se agrega al caucho nuevo es del 5%.
- **Calandrado:** para una suavidad de superficie óptima de productos que son 0.060" o menos de espesor, el compuesto requiere malla 80-100 de polvo criogénico de caucho. Donde la suavidad no es tan importante, la malla 30-60 puede ser usado. El nivel óptimo de caucho triturado criogénicamente en el calandrado es 10%.
- **Moldeado:** el caucho criogénicamente molido en todos los tamaños de malla se puede usar porque todos los tamaños de malla ayudan a eliminar el aire atrapado durante el moldeo. Las partículas de goma curadas proporcionan un camino para que el aire escape al purgar el aire de la pieza.
- **Inyección:** el caucho molido criogénicamente generalmente mejora el flujo del molde. La contracción generalmente es menor para los compuestos que contienen

polvo criogénico de caucho. La reducción de contracción es proporcional a la cantidad de polvo de caucho criogénico en el compuesto. Así que menos luz en el molde será encontrado con el aumento en el porcentaje de caucho molido criogénicamente.

#### **4.5 Análisis Energético**

En todo proceso industrial el estudio y determinación del flujo y movimiento de la energía utilizada para revisar posibles puntos de mejora y evitar desperdicios energéticos en sus diferentes presentaciones, la energía dentro de un sistema (industrial) se procede a realizar un balance energético desde dos puntos de vista; el flujo másico y el flujo energético. para este proyecto se analizara el flujo de energía y masa de la etapa del pulverizado caucho de llanta seccionado en trozos de 1"x1"x1/2" libre de metal o fibras.

##### **4. 5.1 Flujo Másico**

En el análisis desde el flujo másico determinamos principalmente en el movimiento del caucho que ingresa a la cámara de impacto y el nitrógeno líquido que se incorpora en el tornillo sin fin de transporte

Como entrada de masa se consideran las siguientes fuentes:

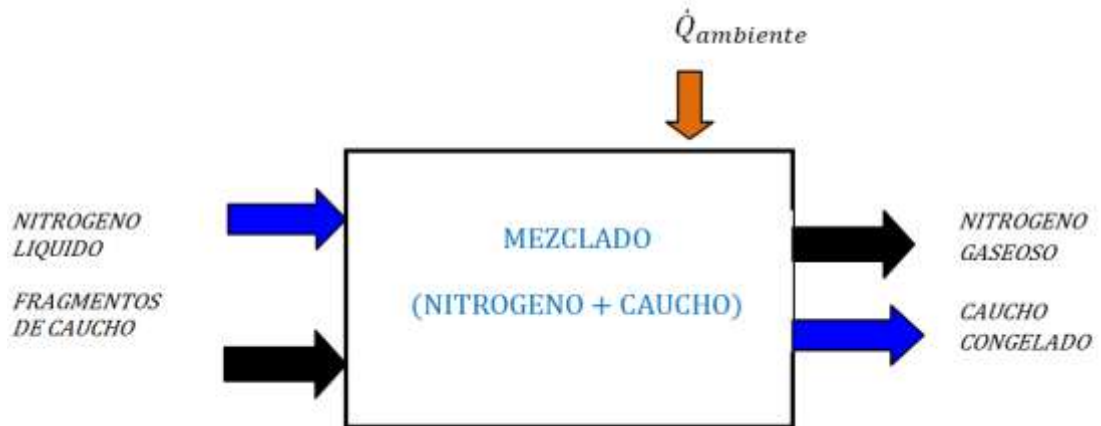
- Caucho
- Nitrógeno

#### **4.6 Etapas del proceso**

##### **4.6.1 Mezclado**

Este proceso se genera por medio de un tornillo sin-fin el cual se alimenta por medio de la tolva donde se cargan los fragmentos de caucho, durante el recorrido y funcionamiento del tornillo se inyecta por medio de aspersores el nitrógeno líquido a lo largo del cuerpo del tornillo de transporte. con esto se garantiza la homogenización de la mezcla y adecuada congelación de los fragmentos de caucho en su totalidad

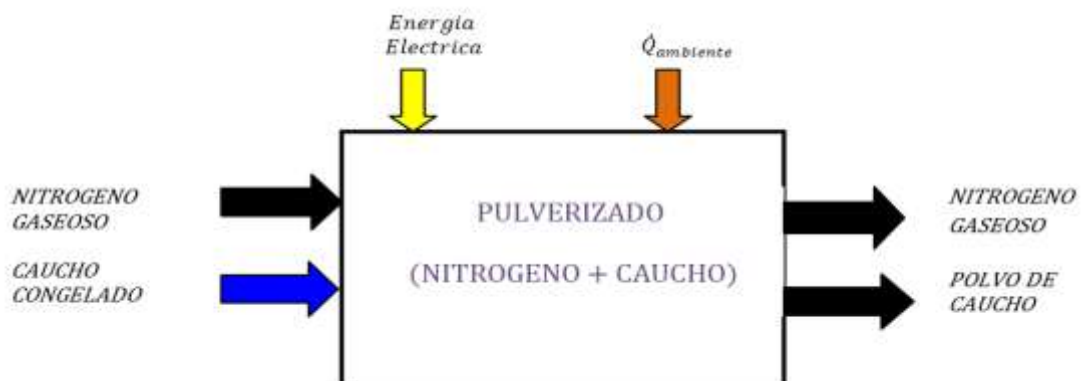
### Proceso de Mezclado



### 4.6.2 Pulverizado

El proceso de pulverizado comienza con la alimentación del tornillo sin-fin de transporte del proceso de mezclado que descarga a los discos de pulverizado la mezcla de caucho congelado y nitrógeno excedente del proceso de mezclado. Los discos que se encuentran a una velocidad mayor a la del tornillo alimentador para garantizar el pulverizado inmediato del caucho después del mezclado y congelado, generan la pulverización del caucho congelado que variara de acuerdo al cierre o apertura de los discos.

### Proceso de Pulverizado



## **5. Metodología**

- **Tipo de investigación**

Este trabajo de proyecto de grado se fundamenta inicialmente en la investigación exploratoria de los procesos de pulverizado criogénico en las diferentes empresas fuera del país para tomar parámetros base para el desarrollo de este proyecto.

Tomando como fundamento los conceptos obtenidos de la etapa exploratoria se utilizaran los elementos adquiridos para generar una descripción detallada del proceso de pulverizado criogénico así como de sus componentes y posible comportamiento de acuerdo a las mediciones a realizar en el sistema

Con los datos obtenidos de la etapa descriptiva se realizara una comparación con los datos obtenidos inicialmente para evaluar la realidad del proyecto y detectar posibles relaciones con trabajos anteriormente realizados para así determinar de manera argumentativa el modelo energético bajo las condiciones y parámetros determinados en las pruebas.

- **Presentación de la información**

Se utilizará el formato de texto científico tipo monografía para la exposición de los resultados y conclusiones del trabajo.

**6. CRONOGRAMA**  
**Tabla 4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

ACTIVIDADES		Marzo 2018				Abril 2018				Mayo 2018				Junio 2018			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Objetivo #1	A: Definición de la configuración del proceso	■															
	B: Determinar la capacidad de trabajo		■														
Objetivo #2	C: Generación de diseño Inicial			■													
	D: Análisis de diseño Inicial			■													
	E: Generación de Diseño Final				■												
	F: Cotización y adquisición de materiales					■											
Objetivo #3	G: Construcción del sistema de Mezclado						■	■	■								
	H: Construcción del sistema de pulverizado						■	■	■	■							
	I: Ensamble completo de los sistemas									■							
	J: Pruebas piloto de funcionamiento									■							
	K: Acondicionamiento y ajustes para pruebas										■						
Objetivo #4	L: Realización de pruebas										■						
	M: Recopilación de datos de temperaturas											■					
	N: Análisis de tamaños de partícula generados												■				



	O: Generación de graficas de comportamiento del sistema																		
	P: Análisis y generación del modelo energético del sistema																		
Presentación	Q: Redacción del documento investigativo																		
	R: Presentación del trabajo de proyecto de grado a la Universidad de acuerdo con las normas vigentes																		

## 7. Financiación

**Tabla 5. Tabla de Egresos**

Autores	Bibliografía	<b>\$ 150 000</b>
	Materiales	<b>\$ 1 000 000</b>
	Fabricación	<b>\$ 1 500 000</b>
	Transporte	<b>\$ 50 000</b>
	Herramientas	<b>\$ 100 000</b>
	Impresiones	<b>\$ 100 000</b>
	Análisis	<b>\$ 200 000</b>
	Papelería	<b>\$ 50 000</b>
Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Tutoría I	<b>\$ 3 000 000</b>
	Tutoría II	<b>\$ 1 000 000</b>
	Laboratorios	<b>\$500 000</b>
	Herramientales	<b>\$250 000</b>
	Insumo Eléctrico	<b>\$300 000</b>
	Imprevistos (10% del total)	<b>\$ 820 000</b>
	<b>Total Egresos</b>	<b>\$8 200 000</b>

**Tabla 6. Tabla de ingresos**

<b>Aportes</b>	
Autores	<b>\$3 150 000</b>
Universidad Distrital	<b>\$5 050 000</b>

## 8. Referencias

- [1]. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/122-noticias-minambiente/2417-nuestra-meta-sera-llegar-a-reciclar-el-90-de-las-llantas-usadas-en-el-pais-minambiente>
- [2]. <http://www.cauchosdynamics.com/cauchogranulado-sbr.html>
- [3]. MycroDyne™  
[http://www.lehightechnologies.com/index.php/products\\_services/overview](http://www.lehightechnologies.com/index.php/products_services/overview)
- [4]. Guillermo Castro: Castro Guillermo, Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos- F.I.U.B.A. - 2007
- [5]. <https://blog.uclm.es/molinoferreira/pagina-ejemplo/los-molinos/>
- [6]. [https://www.hogaruniversal.com/sites/default/files/manuales-de-uso/L12100%20-%20L14200%20Molino%20tradicional\\_0.pdf](https://www.hogaruniversal.com/sites/default/files/manuales-de-uso/L12100%20-%20L14200%20Molino%20tradicional_0.pdf)
- [7]. <http://www.fam.de/espanol/Productos/T%C3%A9cnica%2520de%2520procesamiento/Molinos%2520de%2520martillos/index.html>
- [8]. Webster's Seventh New Collegiate Dictionary, G. & c. Merriam Company, Springfield, Massachusetts (1963).
- [9]. N.R. Braton- Cryogenics Process- Advances in Criogenic Engineering Materials- Springer 2004
- [10]. [http://www.aga.se/internet.lg.lg.swe/en/images/AGA%20Nitrogen%20Industrial%20Quality%20Datasheet%20UK581\\_101351.pdf?v=1.0](http://www.aga.se/internet.lg.lg.swe/en/images/AGA%20Nitrogen%20Industrial%20Quality%20Datasheet%20UK581_101351.pdf?v=1.0)
- [11]. [http://www.aga.se/internet.lg.lg.swe/en/images/AGA%20CO2%20Industrial%20Quality%20Datasheet%20UK581\\_101346.pdf?v=1.0](http://www.aga.se/internet.lg.lg.swe/en/images/AGA%20CO2%20Industrial%20Quality%20Datasheet%20UK581_101346.pdf?v=1.0)
- [12]. <https://www.retsch.es/es/productos/molienda/molinos-de-bolas/molinos-mezclador-cryomill/funcionamiento-caracteristicas/>
- [13]. [http://www.pallmannindustries.com/cryogenic\\_grinding.htm](http://www.pallmannindustries.com/cryogenic_grinding.htm)
- [14]. Transworld Research Network-2011- Recent Developments in polymer recycling/ Pg. 65-67 / Pg.87