

DISEÑO DE MÁQUINA RECUPERADORA DE LLANTAS  
INVESTIGACIÓN FORMATIVA

DAYER AUGUSTO MUÑÓS ÁLVAEZ  
JOHN EDDIER DIAZ CIFUENTES

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA POR CICLOS PROPEDÉUTICOS  
SEMESTRE 2-2017

DISEÑO DE MÁQUINA RECUPERADORA DE LLANTAS  
INVESTIGACIÓN FORMATIVA

DAYER AUGUSTO MUÑÓS ÁLVAEZ  
JOHN EDDIER DIAZ CIFUENTES

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA

DIRECTOR  
INGENIERO GABRIEL PINEDA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA POR CICLOS PROPEDÉUTICOS  
SEMESTRE 2-2017

## CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

JUSTIFICACIÓN

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

II. OBJETIVOS

III. ANTECEDENTES Y ALTERNATIVAS

IV. REQUERIMIENTOS Y CONDICIONES MECÁNICAS

V. SEGURIDAD

VI. DISEÑO DE LA MÁQUINA

VII. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

PRESUPUESTO

BIBLIOGRAFÍA

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta recuperadora de neumáticos _____	Pag. 8
Figura 2. Cuchillas en cascada _____	Pag. 12
Figura 3. Ficha técnica acero K110_____	Pag.13
Figura 4. Dureza y temple en función del diametro _____	Pag.13
Figura 5. Cuchillas diseñadas en SW_____	Pag .4
Figura 6. Engranajes _____	Pag .4
Figura 7. Ensamble 1_____	Pag 15
Figura 8. Ensamble 2 _____	Pag 15
Figura 9. Banda transportadora _____	Pag 16
Figura 10. Perfiles esqueleto _____	Pag 16
Figura 11. Sistema de transporte - (Banda-Esqueleto) _____	Pag 16
Figura 12. Ensamble general _____	Pag 17
Figura 13. Atmega 328_____	Pag 18
Figura 14. Tacómetro digital_____	Pag 19
Figura 15. Adaptador _____	Pag 19
Figura 16. Control PID para la velocidad de la banda transportadora _____	Pag 20
Figura 17. Variador de frecuencia _____	Pag 21

## RESUMEN

Se diseña un sistema mecatrónico enfocado a la máxima reutilización de los componentes de una llanta y la mínima contaminación en este proceso, para lo cual se implementan diferentes sistemas mecánicos, eléctricos y de control con el fin de hacer del sistema una serie de herramientas útiles a la hora de reutilizar llantas ya desechados por el hombre, para así, lograr la disminución del impacto ambiental y aumentar la conciencia de cada ciudadano. Por este motivo, se presta total atención en los diferentes procesos que debe efectuar la máquina en la separación de los componentes de dicho material; para lo cual se diseñan mecanismos de sujeción y extracción de las fibras de acero, además de sistema eléctricos que controlen y aseguren la completa extracción del mismo, se consideran técnicas para polvORIZAR de manera eficiente el caucho y de esta manera gastar la mínima cantidad de energía y lograr el mínimo desgaste en las piezas móviles del sistema, además, se consideran todas las condiciones de seguridad para que la máquina pueda operar y se diseñan sistemas que garanticen en todo momento el control total de las emisiones que está provoque y la correcta separación de los componentes reciclables y los desechos.

## INTRODUCCIÓN

Como tecnólogos, un aspecto muy importante a tener en cuenta es la puesta del conocimiento al servicio de la humanidad, logrando así derribar fronteras que se pueden presentar a causa de muchos factores y que a su vez impiden el desarrollo en cuanto a bienestar y seguridad, como en este caso es el impacto ambiental causado por la mala disposición y el poco interés por la reutilización de llantas de vehículos. Tal responsabilidad que está presente en cada persona y más en quienes son y serán los profesionales líderes, son una razón más para diseñar y desarrollar ideas que estén al servicio de la humanidad y al mejoramiento continuo de los procesos industriales que día a día deben tener como mayor fundamento la protección del medio ambiente y de las personas que lo habitan.

En la actualidad, el deterioro ambiental por causa de la contaminación y la mala utilización de los recursos naturales centran una problemática a nivel mundial, de cómo manejar de manera eficiente los recursos y como darles mejor uso a los desechos. Entre los desechos más comunes se encuentran las llantas o neumáticos de caucho que son utilizados en mayor parte por la industria del transporte, y actualmente tienen un indicador de contaminación muy alto. Para la fabricación de llantas se requiere una gran cantidad de insumos y procesos industriales, múltiples materias primas de diversos orígenes como acero, energía, hidrocarburos, textiles, azufre, pigmentos, agua, entre otros, lo cual implica necesariamente un impacto sobre el medio ambiente.

Debido al gran deseo de servir y al impacto ambiental causado por el desecho de llantas y la quema de estas, se hace necesario diseñar un sistema de recuperación y una cadena de reutilización para dichos recursos, teniendo como fundamento, todas las bases científicas que se han adquirido a lo largo de la carrera y las que personalmente, cada miembro de este proyecto pueda aportar.

## JUSTIFICACIÓN

Se propone diseñar una máquina que cuente con las herramientas necesarias y óptimas para separar los materiales que componen una llanta, sin afectar en el proceso al medio ambiente, de tal forma que extraiga de manera eficiente las fibras de acero y posterior a esto triture el caucho, separe los componentes necesarios para seguir con el proceso de vulcanizado y de esta manera obtener un producto nuevamente consumible, además de que realice todo este proceso aprovechando al máximo el porcentaje de elementos reutilizables que se puedan encontrar y disminuyendo la cantidad de emisiones nocivas para la salud.

Como valor agregado al impacto positivo medioambiental, se puede comercializar las fibras de acero a las siderúrgicas para que pueda ser procesado nuevamente y el caucho en "polvo", luego de ser vulcanizarlos se pueda moldear para ser utilizado en Escenarios deportivos como canchas sintéticas, zapatería, construcción y lo que la gran imaginación del hombre pueda crear.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se estima que a nivel mundial se desechan aproximadamente 2 millones de toneladas de llantas al año, de las cuales el 50% de estas son depositadas en rellenos sanitarios, el 45% son quemados y tan solo el 5% es reutilizado para la fabricación de otros componentes.

El impacto ambiental es alto, dado que una llanta tarda aproximadamente 10 años en empezar a perder propiedades de elasticidad y resistividad a la deformación y hasta el momento se estima que la degradación de una llanta está entre 500 y 3000 años, sin embargo, es aún mayor el impacto ambiental cuando se queman estas llantas dado que los materiales con los se fabrican incluye productos altamente contaminantes, como el azufre, zinc, cadmio y plomo, principalmente; al ser sometidos a la combustión, sus componentes liberan compuestos en forma de nubes de gases y partículas sólidas muy tóxicas para la salud y el ambiente, adicional, estos gases alteran el equilibrio atmosférico al reaccionar con el oxígeno existente.

Es un hecho que el mundo enfrenta una gran problemática ambiental causada por el ser humano; uno de los principales problemas ambientales que tienen mayor influencia en nuestro medio ambiente son los desechos de llantas. Se estima que la vida útil de una llanta, en condiciones óptimas de trabajo es de aproximadamente 30.000 kilómetros. La problemática aumenta día tras día, pues estos elementos son difíciles de reciclar; debido a que la composición del caucho contiene gran cantidad insumos químicos para garantizar diferentes condiciones de trabajo, entre estos encontramos el azufre, cemento, fibras de acero, caucho natural, antioxidantes y antiozonantes. El caucho natural es vulcanizado con la fibra metálica; separar estos dos componentes es sin duda alguna el factor que genera mayor dificultad al momento de reciclar las llantas. [1]

Las cenizas producidas por la quema de los neumáticos generan además residuos que son arrastrados por el viento y la lluvia hacia las aguas subterráneas y superficiales, por lo que las capas superiores del suelo reducen su fertilidad, también afectan al sistema respiratorio humano, a través de enfermedades respiratorias y en el peor de los casos, puede llegar a ocasionar cáncer pulmonar.

En este orden de ideas, se requiere diseñar un sistema que recicle la mayor cantidad de los componentes de las llantas, sin afectar en el proceso al medio ambiente.

Surge entonces la pregunta: ¿Qué sistema mecatrónico se hace necesario diseñar, de tal forma que sea eficiente en la separación y reciclaje de los elementos que

componen las llantas para así disminuir el impacto ambiental ocasionado por el desecho de las mismas?

## II. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina recuperadora de llantas

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el tipo de máquina y diseñarla
- Determinar las condiciones de seguridad de la máquina diseñada
- Simular el funcionamiento mecánico
- Diseñar el sistema eléctrico y de control

### III. ANTECEDENTES Y ALTERNATIVAS

La utilización de la goma de hevea o caucho data desde los tiempos ancestrales, hay indicios que los egipcios usaban esta sustancia viscosa con fines medicinales, incluso hay registros que demuestran que en las culturas aztecas se usaba esta sustancia para la impermeabilización de bolsos y la fabricación de una especie de pelotas, incluso Cristóbal Colón en su segundo viaje a América en 1493 observó las propiedades elásticas de estas pelotas y las llevó a Europa y años más tarde en 1521 los exploradores españoles notaron que los indígenas de la región usaban esta sustancia viscosa sobre sus pies que al secarse creaba una especie de rústico calzado, después Antonio Tordesillas usó por primera vez la palabra goma en 1601 al referirse al látex resinoso.

Al transcurrir el tiempo el francés Carlos de la Condamine realizó una expedición por la Amazonía en 1735 en la cual buscaba el árbol de hevea o “cao chu” del cual se deriva el nombre caucho, pero fue en 1839 cuando Charles Goodyear accidentalmente descubrió el proceso de vulcanizado del caucho, incrementando sus propiedades elásticas y la resistencia a la deformación luego del proceso, a partir de este descubrimiento se dio pie para continuas experimentaciones llegando así hasta Escocia donde John Boyd Dunlop inventó el neumático en 1888 que consiste en un tejido de tela recubierta de caucho inflada por aire y en 1920, la tela tejida desapareció y fue sustituida por tejidos con cables de metal sin trama.[2]

Llegando así hasta 1937 donde Michelin creó la carcasa de acero y consiguente el 4 de junio 1946 Michelin inventa y patenta la llanta radial que desde entonces ha sido utilizado por todos los fabricantes de llantas en la actualidad. Continuando con el proceso evolutivo y haciendo uso de los avances tecnológicos del momento la compañía Pirelli lanza en el 2011 una línea de llantas ecológicas con un porcentaje menor de caucho y con unas especificaciones ingenieriles que las hacen más duraderas y sólidas ayudando en gran parte al medio ambiente

En julio de 2015 la empresa Continental afirma una nueva fuente de obtención de caucho esta vez será extraído de la flor “diente de león” reduciendo un poco la dependencia a la extracción del árbol de hevea. [3]

Hasta la fecha las diversas compañías productoras de neumáticos siguen tratando de mejorar sus procesos de elaboración ya sea para mejorar la calidad de sus productos y además reducir el impacto ambiental de estos mismos.

La constante evolución en tecnología y la tendencia a la automatización de procesos, ha permitido que los sistemas de recuperación de neumáticos y de caucho en general, sea cada vez más eficiente, logran así, la obtención de productos de alta calidad donde la materia prima es en gran porcentaje, el producto que sale de estas plantas. En la actualidad existen plantas totalmente automatizadas para la recuperación de llantas, donde segmentan los procesos de separación del acero y triturado hasta llegar a polvo de aproximadamente 0,25 mm de caucho, además de que logran absorber mediante aspiradoras, la mayor cantidad de polvo para así cumplir con normas internacionales de contaminación del aire circundante. [4]

En la siguiente imagen se puede apreciar el plano general de una planta recuperadora de neumáticos

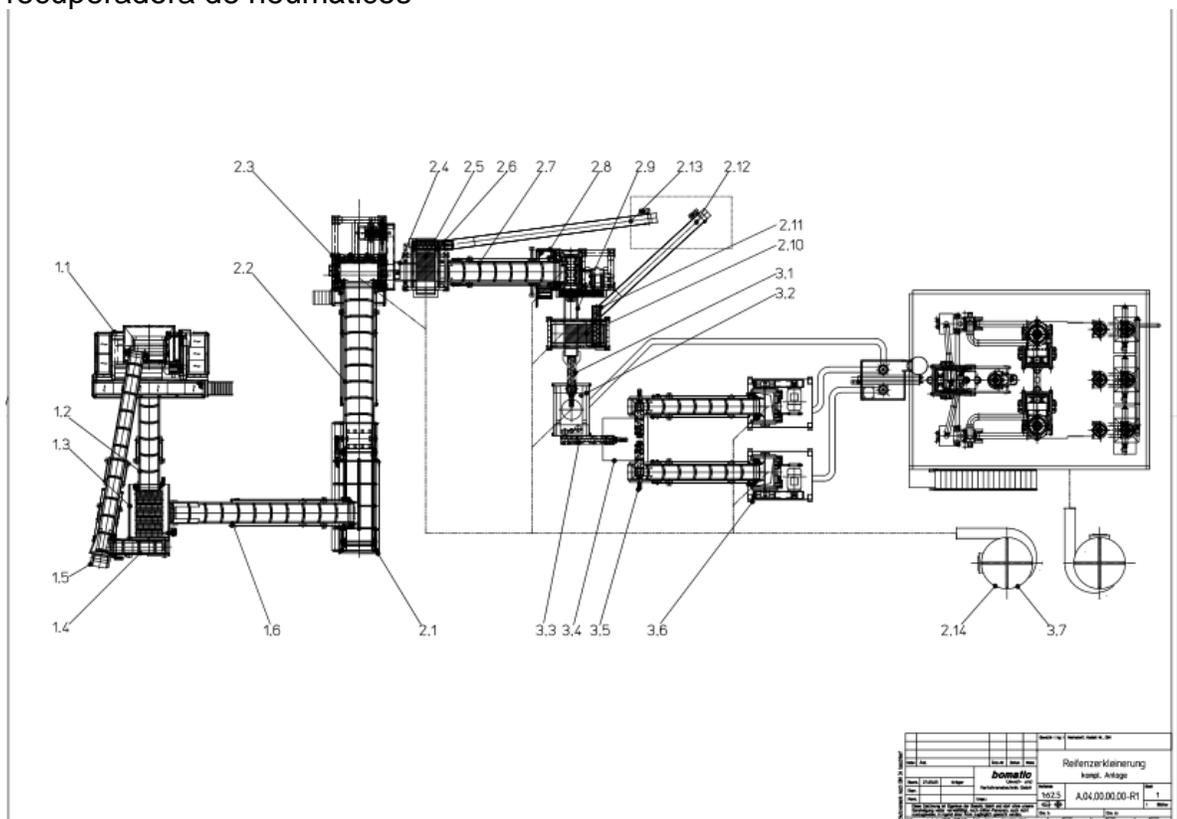


Figura 1. Planta recuperadora de neumáticos.

En donde se divide el proceso en cuatro (4) etapas:

- Pre-triturado
- Granulación
- Molienda
- Cribado y limpieza

Sin embargo, estos modelos gastan mucha energía y necesitan de gran cantidad de subestaciones por donde debe circular la llanta, aunque es necesario destacar que la pureza del polvo obtenido al final del proceso es de alta calidad.[5]

## IV. REQUERIMIENTOS Y CONDICIONES MECÁQUINAS

### IV.I TRITURADORA

Debido a la naturaleza del material a procesar, la maquina requiere de un motor que genere como mínimo 100 HP de potencia mecánica, que mantenga una velocidad baja y constante, se requiere un sistema de engranajes que aumenten la potencia y disminuyan la velocidad, un variador de frecuencia o bien un sistema de control que aporte al trabajo realizado por los engranajes, que las cuchillas sean diseñadas de tal forma que se aproveche la geometría y dimensiones de los neumáticos para garantizar siempre un corte óptimo y que este proceso proveche el momento del sistema de potencia del motor seleccionado.

Se requiere una tolva con dimensiones mínimas de 2x2x2 m, para almacenar temporalmente los neumáticos que se están triturando, con el fin de evitar la contaminación de la superficie y medio donde se encuentre la máquina, con partículas o trozos de neumático y fibras de acero, además de brindar soporte y seguridad a los operarios y/o personal encargado del ingreso de neumáticos a la trituradora.

### IV.II BANDAS TRANSPORTADORAS

Una vez triturado el neumático, las bandas transportadoras guiarán el proceso de separación de las fibras de acero y re-trituración para garantizar como primer instancia que ambos materiales queden separados; por tal motivo se requiere una velocidad media y contante en el movimiento de las bandas, debe existir por lo menos una banda magnética que identifique los trozos de material que aún dispongan de fibras de acero y que al identificarlas, sean conducidas nuevamente a la tolva para ser re-trituradas y repetir el proceso hasta que exista la mínima cantidad de fibras de acero, adheridas a trozos de neumático. También se requiere un filtro (malla) que detenga el paso de los trozos de neumático que ya tengan las dimensiones requeridas de la fase de triturado y que permita que las bandas transportadoras, conduzcan nuevamente el material restante a la tolva para ser re-triturados

#### IV.III ESTRUCTURA

Se requiere diseñar un esqueleto o estructura que soporte los sistemas anteriormente descritos y que ocupen la mínima cantidad de espacio en la planta, sin que esto afecte su funcionamiento.

#### IV.IV SISTEMA DE STOP

Se requiere diseñar un sistema electrónico que cumpla la función de “parada de emergencia” o “stop” ya que puede existir la posibilidad de que ingresen a la tolva algún material importante, un atasco o que al momento de ingresar neumáticos a la tolva, un operario se atasque en el sistema de triturado.

## V. SEGURIDAD

La seguridad en la industria es un factor imprescindible en el desarrollo de las máquinas y herramientas utilizadas, además de que este tema está reglamentado y actualmente se trabaja en la operatividad de los mismo, el asumir normas de seguridad para la operación de herramientas y maquinaria como esta, aumenta la confiabilidad tanto del producto final como de la empresa en sí misma, además de que evita accidentes e incidentes de forma planificada. De tal manera que se dictan algunas disposiciones para la operación de la máquina trituradora de neumáticos que se diseña:

Debido al momento que genera el sistema de triturado y el ruido generado por el mismo, además de la presencia de algunas partículas en el ambiente circundante, se hace necesario tener en cuenta ciertas recomendaciones mínimas de seguridad para evitar accidentes e incidentes industriales al momento de utilizar el sistema de triturado de neumáticos:[6].

- Saber la ubicación en todo momento del sistema de parada de emergencia
- Evitar utilizar joyería o prendas sueltas al momento de operar la máquina
- Portar gafas protectoras, tapa boca y tapones para oídos
- Tener especial cuidado al momento de ingresar neumáticos a la tolva
- Realizar el mantenimiento preventivo en los tiempos estipulados
- Al momento de realizar aseo a la planta, se recomienda utilizar aspiradora puesto que barriendo se podría generar mayor cantidad de partículas que al transcurrir el tiempo sería causa de daños pulmonares al personal.

## VI. DISEÑO DE LA MÁQUINA

El diseño estructural y mecánico de la máquina trituradora de neumáticos se modeló con el software de diseño SOLIDWORKS, mediante técnicas de modelado aprendidas en los cursos de diseño asistido, ofrecidos por el programa de mecatrónica y bajo los requerimientos de espacio, eficiencia y seguridad, descritos en los dos capítulos inmediatamente anteriores a este.

Basado en la confiabilidad y la eficiencia que han demostrado las cuchillas en cascada se ha modelado un sistema de iguales características geométricas con 34 cuchillas dispuestas de forma paralela en pares. Como ejemplo se utilizó el sistema de triturado de una de las máquinas de la empresa LIPPEL, como se puede apreciar en la figura 2.



Figura 2. Cuchillas en cascada.

En este orden de ideas, se diseñan las cuchillas en SolidWorks, para ser hechas posteriormente en acero K110 y deben ser templadas para mejorar sus propiedades mecánicas, debido al trabajo que deben realizar.

Es necesario aclarar que la geometría, ensamble y material de construcción de las cuchillas son de igual importancia y que se eligió el acero K110 ya que basados en su ficha técnica [7], este, presenta gran resistencia al desgaste y es estable dimensionalmente durante tratamientos térmicos (justo lo que se necesita del material) y que en la misma ficha recomiendan utilizar este material para herramientas de corte de gran rendimiento. Ver figura 3.

Nuance / Marca BÖHLER	Resistance à l'usure (abrasive)	Resistance à l'usure (adhesive)	Tenacite	Usinabilité	Stabilité dimensionnelle lors du traitement thermique
	Resistencia al desgaste (abrasiva)	Resistencia al desgaste (adhesiva)	Tenacidad	Maquinabilidad	Estabilidad dimensional en el tratamiento térmico
K100	██████████	██████	██████	██████	██████████
K105	██████████	██████	██████	██████	██████████
K107	██████████	██████	██████	██████	██████████
K110	██████████	██████	██████	██████	██████████

Figura 3. Ficha técnica acero K110

Para realizar el temple de este material a un rango de temperatura de (1020 – 1040) °C se recomienda un tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo entre 15 y 30 minutos, para lograr una dureza entre 63 y 65 HRC, lo que sería ideal para el trabajo que debe realizar el sistema de triturado.

Otra característica importante en este material es la dependencia de la dureza del núcleo y de la penetración del temple, en función del diámetro de la pieza (ver figura 4), ya que se debe tener cuenta al momento de diseñar las cuchillas y así asegurar un temple exitoso.

Courbe de la dureté du cœur et de la profondeur de trempé en fonction du diamètre de la pièce

Dependencia de la dureza del núcleo y de la penetración del temple en función del diámetro de la pieza

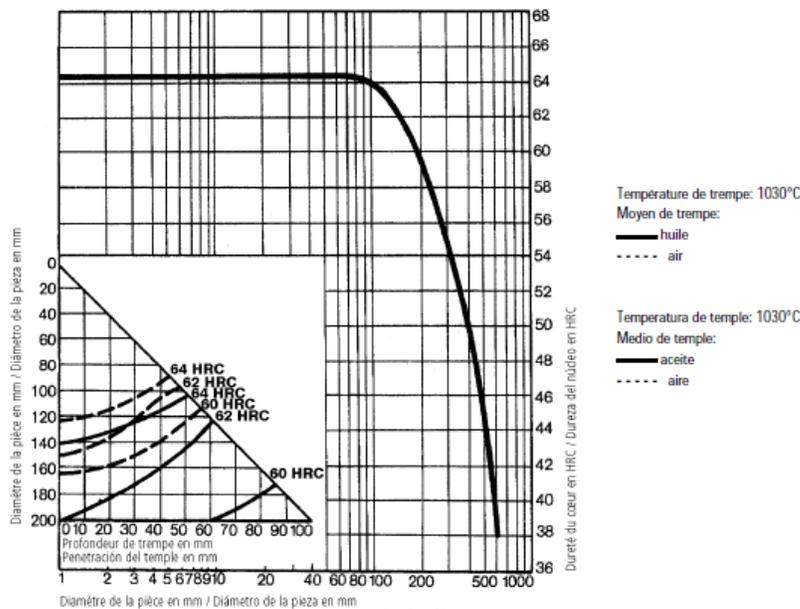


Figura 4. Dureza y temple en función del diámetro.

Como ya se había comentado, la geometría y dimensiones de las cuchillas, se realizaron con base en las mejores máquinas de corte en la industria, tal forma es la que se muestra a continuación.

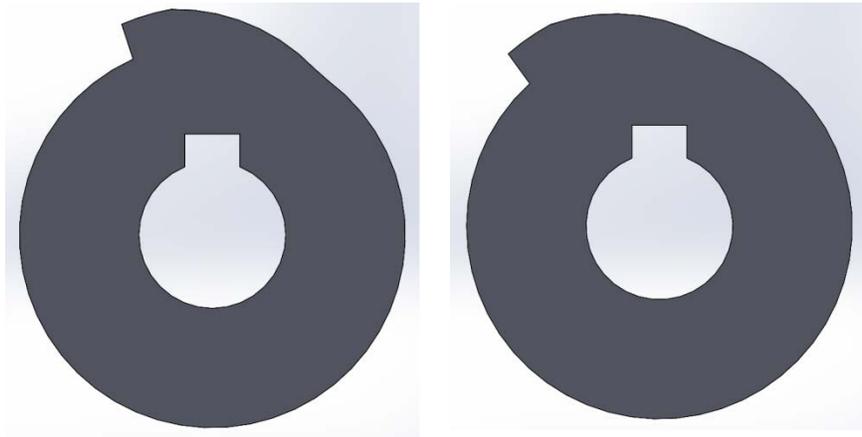


Figura 5. Cuchillas diseñadas en SW

El sistema de reducción de velocidad y aumento de potencia mecánica se diseñó con dos engranajes con relación 3:1 y se realizó mediante el Toolbox que el mismo software de diseño tiene a disposición de los usuarios.

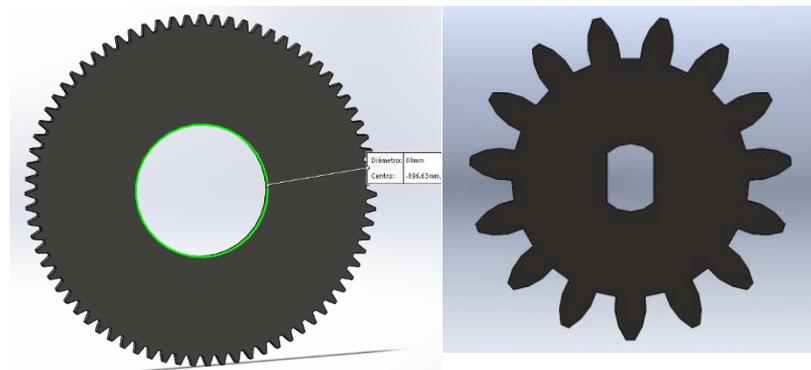


Figura 6. Engranajes

Se muestra entonces la relación entre las figuras 3, 4, el motor de potencia seleccionado y el modelado de la tolva que se diseñó con una matriz de acero 1020.

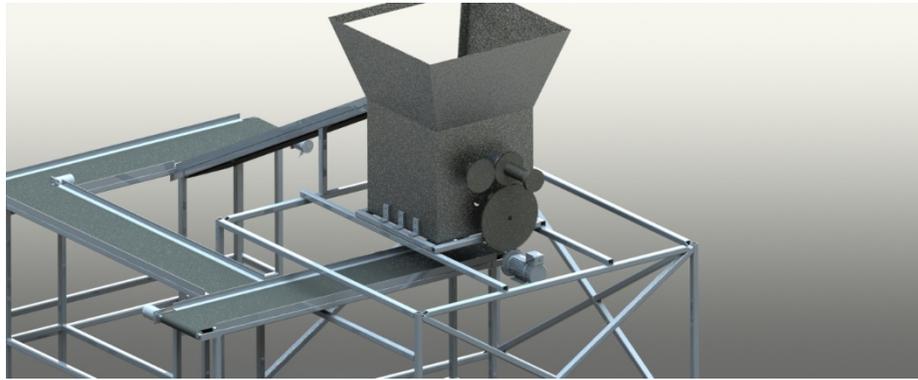


Figura 7. Ensamble 1

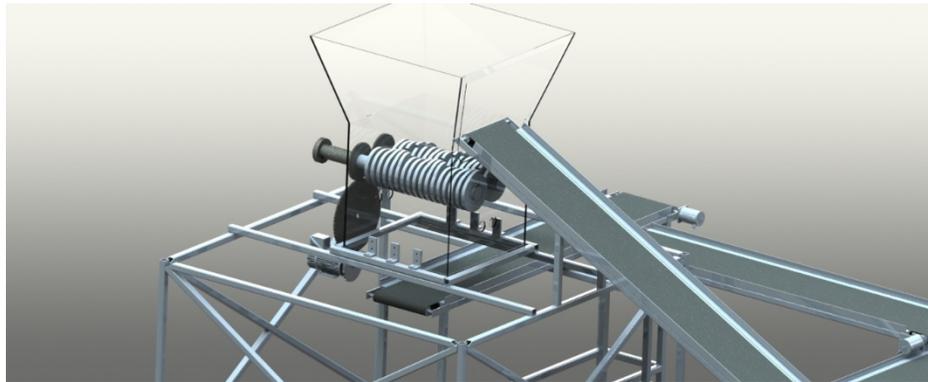


Figura 8. Ensamble 2

También es importante aclarar que se diseñó la estructura de soporte con perfilera rectangular de acero SAE 1020 (Ver figura 10), utilizando 44 perfiles de diferentes tamaños y ensamblados de tal forma que aprovechen el espacio y resistan el peso que ejerce el sistema de triturado, los motores y teniendo en cuenta un diferencial de fuerza que será ejercida durante su funcionamiento por el material triturado y a punto de triturar, las bandas transportadoras se realizaron mediante láminas flexibles de un polímero sintético llamado TPU, el cual ofrecen un rendimiento óptimo cuando se necesitan diámetros pequeños y alta resistencia a la abrasión. Son la gama de bandas transportadoras ligeras de alta calidad para la aplicación más exigente, con geometría y dimensiones que se pueden apreciar en la figura 9, utilizando 4 bandas en el ensamble general, donde 2 de estas son magnéticas.

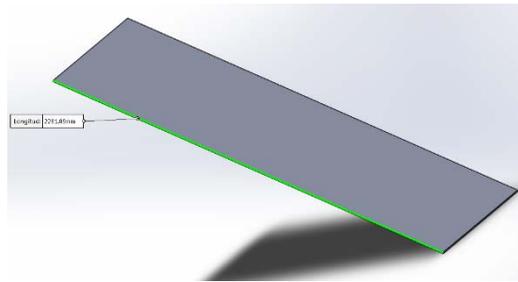


Figura 9. Banda transportadora



Figura 10. Perfiles esqueleto

A continuación, se muestra la relación entre las figuras 9 y 10 que conforman la estructura de transporte para los neumáticos triturados, además de haber agregado algunos mecanismos de sujeción y acoples que se venden con medidas comerciales para la construcción de bandas transportadoras. Ver figura 11.

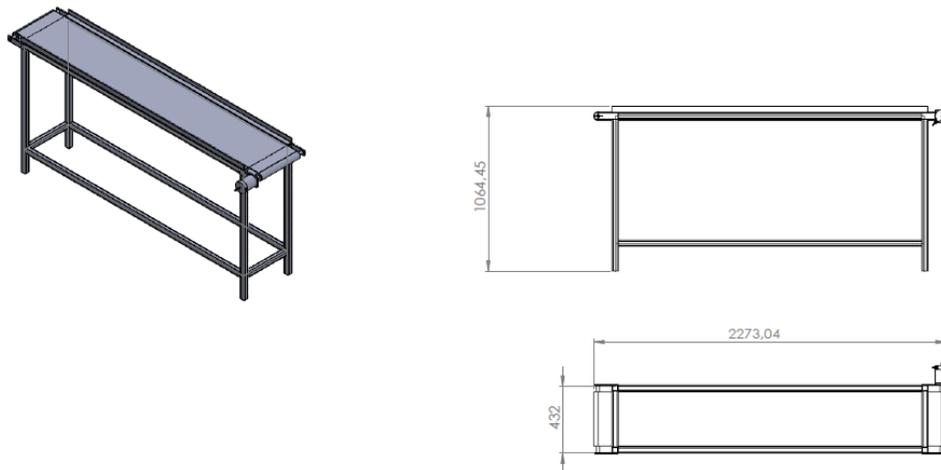


Figura 11. Sistema de transporte – (Banda- esqueleto)

Se puede apreciar el ensamble de todo el sistema a continuación.

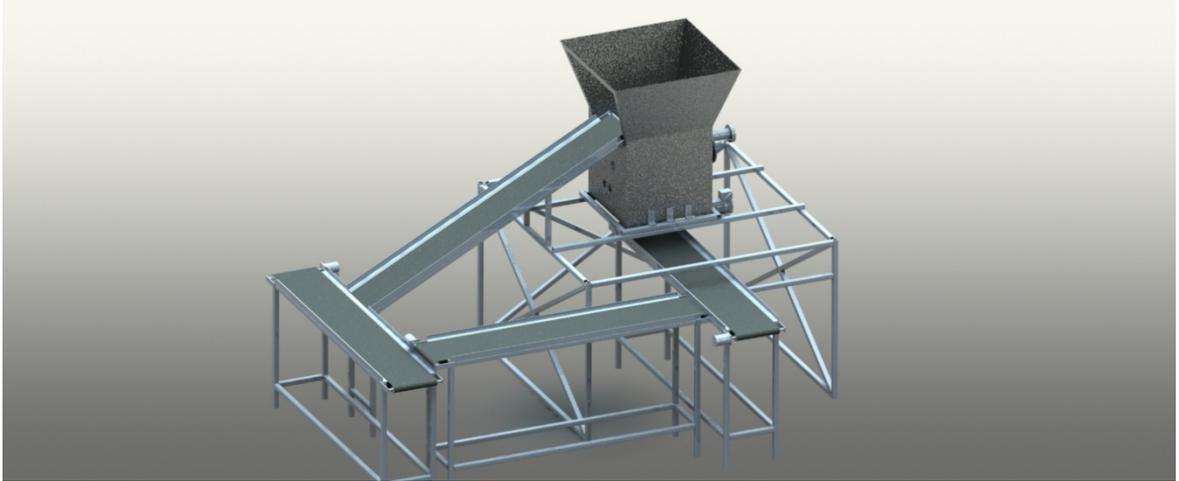


Figura 12. Ensamble general

Se puede apreciar entonces, la distribución del espacio que se quiso aprovechar durante el diseño de la estructura, la cual ocupa un área de 12 metros cuadrados (3X4), la forma operativa en la que fluirán los trozos de material triturado y el sistema de realimentación que trabaja en conjunto a las bandas magnéticas. La máquina es relativamente liviana, con un peso de 1,2 toneladas, lo que permite un fácil transporte en comparación a otras máquinas en el mercado.

Se hace necesario aclarar que esta máquina recuperadora de llantas es en principio una máquina trituradora de neumáticos ya que se considera que, para realizar la recuperación total de este tipo de material, es necesario pulverizar, moler, cribar y limpiar los trozos de sólidos que se obtienen del proceso de triturado y luego vulcanizarlo para así, mediante moldes, generar un producto nuevo. Sin embargo, el proceso más robusto es el triturado, ya que es el que necesita mayor potencia y desgaste debido a la separación de las fibras y el tamaño del material a triturar.

En este orden de ideas se deja abierta una brecha a la investigación de futuros proyectos, para diseñar la maquinaria que culminaría el proceso de reciclaje y reutilización mediante el desarrollo de productor comerciales para el consumo de las personas.

## VII. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

### VIII.I. SISTEMA ELECTRONICO Y DE CONTROL

Es importante asegurar que la banda transportadora opere a velocidad constante en todos sus tramos o secciones del proceso, ya que, de no mantener estas características de estabilidad, puede ocurrir que las bandas magnéticas no extraigan las fibras de forma eficiente y en consecuencia el proceso de triturado requiera de mayor tiempo del estipulado o bien que el producto final tenga que volver a ser triturado y separado casi que de forma manual. Además de esto, también se debe asegurar un torque constante en el sistema de triturado o bien que esta variable pueda ser configurada por un operario.

Para mantener una velocidad constante en la banda transportadora se opta por diseñar un sistema de control PID (Proporcional, Integral y derivativo), de tal manera que se utilizará un microcontrolador que se encargará de procesar las señales y es donde irá alojado el algoritmo que realizar el control, un tacómetro digital que será el sensor de velocidad del motor, una LCD que permitirá la visualización en todo momento la velocidad del sistema y un teclado matricial que permitirá al operario, cambiar la velocidad de la banda, según sea el requerimiento en el momento.

### MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un sistema programable que consta de un microprocesador, memorias RAM, ROM, EEPROM, PILA, periféricos y chips que le permiten comunicarse mediante diferentes protocolos, adquirir datos tanto analógicos como digitales y enviar señales digitales y de tipo PWM, entre otras características que lo hacen flexible y amigable al momento de optimizar gastos en la solución de problemas industriales y académicos.

El microcontrolador que se quiere utilizar es de la familia ATMEL, específicamente el 328 ya que tiene las características suficientes para procesar la señal del tacómetro y realizar el proceso de control.



Figura 13. Atmega 328

## TACÓMETRO

Un tacómetro es un sistema de medición cuya función principal es entregar la variación o cambio de la posición angular de un objeto con respecto a un punto de referencia, generalmente es un mecanismo acoplado al sistema que se quiere medir e indica la variable en revoluciones por minuto (RPM).

Existen tacómetros analógicos que se pueden ver en autos o motocicletas, sin embargo, el tacómetro digital es el más utilizado en la actualidad, ya sea para sistemas industriales como para autos y motocicletas, ya que estos son más precisos y entregan la información de tal forma que cualquier persona puede interpretarla y tomar decisiones al respecto.



Figura 14. Tacómetro digital

## ADAPTADOR – CONVERTOR AC / DC

En términos generales, un adaptador o cargador de celulares, computadores, etc. Tiene en su interior un sistema eléctrico y/o electrónico que permite en primera instancia, bajar la tensión ya sea con un transformador o con un circuito RC, luego se procede a realizar la rectificación de la señal con un puente de diodos, posterior a esto se realiza un proceso de filtrado y una regulación, según sea el caso.

Regularmente, estos cargadores pueden entregar una corriente de 1 A, lo que es suficiente para alimentar el microcontrolador.



Figura 15. Adaptador

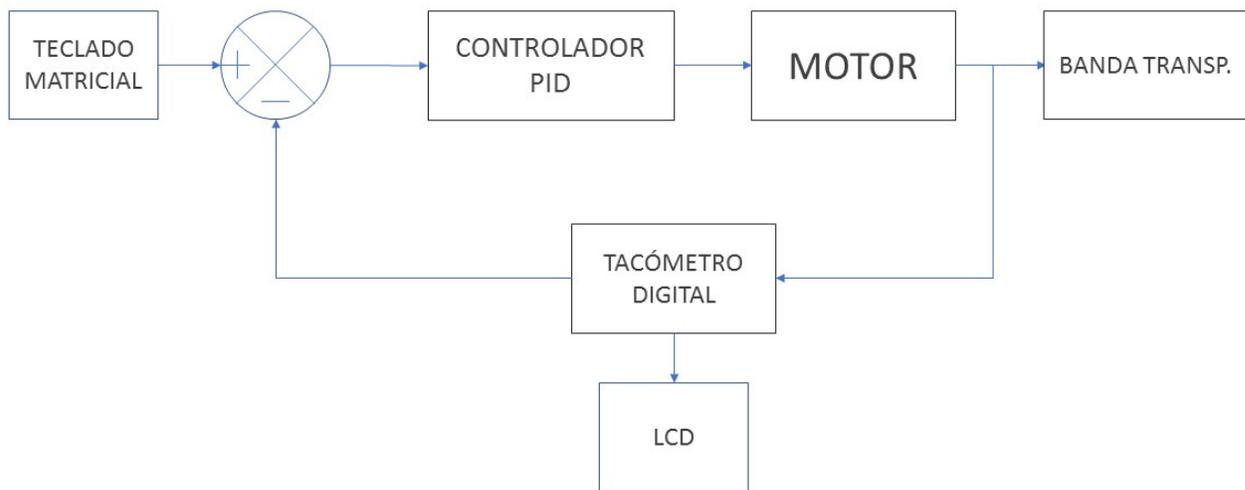


Figura 16. Control PID para la velocidad de la banda transportadora

Como se puede apreciar en la figura 13, el sistema de control [8] diseñado consta de las siguientes características:

La referencia (velocidad deseada) se selecciona mediante un teclado matricial, el microcontrolador procesa la información y la adopta como la referencia del sistema de control, posterior a esto se calculan las constantes  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  para la función de transferencia del controlador, el sistema se pone en marcha en cuanto el usuario da Enter y el algoritmo empieza a controlar la velocidad mediante el envío de una señal PWM que irá a un driver para la alimentación del motor y la corrección de la misma en función de las señales que envíe el tacómetro (señal que es acondicionada para mejorar la lectura). Es importante aclarar que en todo momento se puede visualizar la velocidad de la banda transportadora mediante la LCD.

Para asegurar un torque constante en el sistema de triturado, además del sistema de piñones, se debe conectar el motor a un variador de frecuencia y seleccionar la programación adecuada para garantizar un torque constante y por tanto, que el triturado se realice eficientemente.

## VIII.II SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico en este caso se limita a la alimentación de los motores y del sistema de control; se deben asegurar 5 V DC en el microcontrolador y la LCD, 12 V DC para el tacómetro digital, por tanto se requiere un adaptador para convertir la alimentación AC en DC, una alimentación trifásica a 220 V AC en el motor del sistema de triturado que garantice una potencia máxima de 5,5 KW, un variador de frecuencia robusto para realizar el arranque suave del motor y posterior a esto, realizar el control del torque constante y un motor monofásico a 220 V AC y un sistema de alimentación que asegure una potencia máxima de 0,7 KW para la banda transportadora.

### VARIADOR DE FRECUENCIA

Un variador de frecuencia en un sistema el control de la velocidad angular de un motor de corriente alterna, al cambiar la frecuencia de alimentación, en función de parámetros programables que son diferentes en cada referencia y modelo del dispositivo.

Para la programación de estos dispositivos existen tablas que, mediante la selección manual, ya sea en un control físico o bajo software, permiten al usuario configurar parámetros de comunicación, velocidad, adquisición de datos, alertas, entre otras funciones.



Figura 17. Variador de frecuencia

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En base a la limitada información que hay en la red, bibliotecas y trabajos de investigación, referente al diseño y construcción de máquinas recuperadoras de llantas, se hizo complejo la búsqueda de información para referenciar ejemplos en el transcurso del proceso, además de que la experiencia, resultados y conclusiones de trabajos hechos con anterioridad son una base importante en la optimización, mejoramiento continuo y desarrollo de sistemas de carácter ingenieril, lo que fue un factor en contra a la hora de solucionar problemas y proponer alternativas de diseño, elección de las herramientas y materia prima con que se pretendía realizar, sin embargo, se logró un trabajo excelente para dar inicio a un proceso de construcción e implementación de una máquina que en su operación, aportaría gran valor cada ciudadano, ya que impactaría de forma positiva a la sociedad y sería un gran punto de partida para investigaciones y desarrollos futuros.

Si bien es cierto que diseñar una máquina tan robusta como esta es una tarea de gran planificación y requiere de experiencias y conocimientos que son relacionados directamente con el campo del hacer, los conocimientos teóricos que se aprendieron durante los cursos ofrecidos por el programa de mecatrónica, fueron los pilares fundamentales para el desarrollo del mismo; ya que se seleccionaron los materiales en función de las propiedades mecánicas para que cumplieran con la labor encomendada y que se pudieran evitar posibles fallas en un futuro, se diseñó un sistema de control basado en conocimientos básicos de microcontroladores, electrónica digital y analógica y manejo de periféricos, para evitar pérdidas de material por causa de la velocidad de la banda transportadora, se diseñó un sistema de engranajes que aumentara la potencia ofrecida por el motor de corriente alterna y se modeló la máquina en su totalidad, bajo técnicas adquiridas en los cursos de diseño asistido por computador y la destreza que confiere laborar en este campo.

Por otra parte se quiere resaltar que la elección de un sistema microcontrolado para el diseño del sistema de control se hizo por motivos económicos y de eficiencia ya que estos sistemas de forma industrial, se pueden implementar mediante controladores lógicos programables (PLC's) que son robustos y eficientes, sin embargo sus costos son elevados, también se pudo realizar con un controlados PID que se venden en el mercado bajo presentaciones robustas, como un módulo que se puede programar y conectar de forma didáctica, sin embargo, su precio también es algo elevado, de tal manera que un sistema microcontrolado, aunque exige mayor tiempo en el diseño y construcción, es una gran oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera y permite que el sistema sea más específico y que la configuración y monitoreo se realiza bajo parámetros que mejor convengan.

Aunque el motor que genera el movimiento en el sistema de triturado es de gran potencia, se tuvo que diseñar un sistema de transmisión de relación 3:1 para aumentar un poco más el torque y así mejorar el rendimiento de la máquina. Los cálculos que se hicieron con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{D}{N}$$

Donde:

M: es el módulo

N: es el número de dientes

D: es el diámetro

De tal manera que ambos engranajes deben tener el mismo módulo para que se pueda transmitir el movimiento de forma eficiente, se seleccionó a conveniencia la cantidad de dientes de ambos engranajes y el diámetro del que recibe directamente la fuerza del motor, se igualan ambas ecuaciones y se despeja el diámetro del segundo engranaje:

$$D2 = \frac{D1 * N2}{N1}$$

## CONCLUSIONES

Se concluye que este sistema en general cuenta con las características para triturar cualquier tipo de neumático, separar las fibras de acero y generar la mínima cantidad de partículas en el ambiente circundante y cumple los objetivos planteados, además de que se aportaron valores agregados y especificaciones concretas a la hora de realizar una futura construcción e implementación.

El diseño de este sistema permitió apropiarse del conocimiento que durante toda la carrera se adquirió para aplicarlos y realizar una sinergia de ramas de la ingeniería como lo es la instrumentación para acondicionar señales, programación para definir parámetros y los algoritmos que deben ejecutar los sistemas microprocesados y microcontrolados, como el microcontrolador ATME 328, diseño asistido por computador para modelar la estructura mecánica en base a los requerimientos y los dispositivos que se deben ensamblar, física para tener en cuenta los aspectos ambientales, estructurales, estáticos y dinámicos que la máquina debe soportar, matemáticas que están embebidas en todos los campos, electrónica para reconocer y entender el funcionamiento de la mayoría de dispositivos que se plantearon a utilizar, propiedades de los materiales para determinar los materiales de construcción de la estructura mecánica y las cuchillas en especial y mecanismos para el diseño del sistema engranajes del motor del sistema de triturado, además de permitir conocer en cada uno, las competencias investigativas y de trabajo en equipo y de dejar una puerta abierta a la construcción, investigación y mejoramiento de esta máquina.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una buena investigación de los antecedentes e información que aporte ideas para el diseño de máquinas de este tipo, ya que cualquier error en la construcción puede generar accidentes industriales o bien en casos extremos, pérdidas humanas.

Para el diseño de engranajes se recomienda utilizar el toolbox que ofrece SolidWorks ya que el cálculo de los diferentes parámetros de diseño, basados en libros tanto prácticos como teóricos es algo complejo y la utilización de herramientas que disminuyan el tiempo de procesos es importante para la actualización del conocimiento y la mejora en otros aspectos.

Se recomienda utilizar las librerías on-line que ofrece Solidworks y su gran comunidad de diseñadores, así como la de Grabcad.com para realizar una mejor presentación en los diseños a la hora de utilizar elementos que se deben comprar, como por ejemplo, los motores de corriente alterno, tornillería, mecanismos de sujeción, tuercas, etc. además de que la visualización a escala de los ensamblajes teniendo en cuenta todos los dispositivos y elementos adicionales, permiten una mejor simulación y se convierte en puntos referencia para determinar si el diseño estructural en realidad cumple con las especificaciones dadas



## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ECOLOGIA VERDE, Los neumáticos, grandes contaminantes, < <https://www.ecologiaverde.com/neumaticos-grandes-contaminantes/> >, 30 de agosto del 2017.
- [2]. CASIOPEA, Historia del caucho, < [http://wiki.ead.pucv.cl/Historia\\_Del\\_Caucho](http://wiki.ead.pucv.cl/Historia_Del_Caucho) >, 20 de septiembre del 2017.
- [3]. POLIMEROS NATURALES, Extracción del caucho industrial, < <https://polimerosnaturales.wordpress.com/2009/11/28/extraccion-de-caucho/> >, 25 de noviembre del 2017.
- [4]. ALIBABA.COM, Máquinas de reciclaje, < <https://spanish.alibaba.com/g/tyre-recycling-machinery.html> >, 5 de octubre del 2017.
- [5]. UNORECICLAJE.COM, Planta de reciclaje para neumáticos, < <http://www.unoreciclaje.com/proyectos-para-el-reciclaje/reciclaje-llantas-goma-neumaticos.php> >, 10 de octubre del 2017.
- [6]. LIBERTYCOLOMBIA.COM, Reglamiento de higiene y seguridad industrial, < <http://www.libertycolombia.com/Empresas/ProdyServ/Biblioteca-de-Documentos/ARP/Biblioteca%20T%C3%A9cnica/Reglamento%20de%20Higiene%20y%20Seguridad%20Industrial.pdf> >, 12 de octubre del 2017
- [7] FERRUMACEROS.COM, Ficha técnica acero k110, < <http://www.ferrumaceros.cl/k110.php> >, 12 de octubre del 2017.

[8] Control digital, teoría y práctica 2Ed, Luis Eduardo García Jiménez, Libro adscrito al la biblioteca del politécnico colombiano Jaime Isaza Cadavid, 20 de octubre del 2017.