



# **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE PROCESOS PRODUCTIVOS INNOVADORES Y AMIGABLES CON EL MEDIO AMBIENTE PARA LA VULCANIZACIÓN DEL CAUCHO VIRGEN Y LA RECUPERACIÓN DE LLANTAS USADAS EN FUNCIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

**Daniela Valentina Moreno González**

**Universitaria Agustiniana  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

El diseño de procesos productivos innovadores y amigables con el medio ambiente para la vulcanización del caucho virgen y la recuperación de llantas usadas en función de la economía circular, es un proyecto que se ha iniciado desde la ingeniería industrial con el fin de implementar dichos procesos en VulcanoInnova, un proyecto empresarial cuya actividad productiva estará direccionada a la transformación del caucho, desde su estado virgen mediante procesos de vulcanización hasta su etapa final, lo que hace referencia a la recuperación y posterior tratamiento de las llantas usadas. La vulcanización es el proceso industrial en cual el caucho virgen es calentado en presencia de azufre y acelerantes químicos, haciéndolo más flexible y resistente. Este proceso permite la aparición de nuevos productos como el caucho vulcanizado, utilizado en industrias como la automotriz para la fabricación de llantas o la construcción, por otro lado, se encuentra la recuperación de llantas usadas mediante un proceso de logística inversa, el cual permite pulverizar el caucho de los neumáticos, convirtiéndolos en materia prima para otras actividades industriales como la pavimentación y la construcción, la industria del calzado e incluso la industria militar.

En concordancia con los lineamientos del proyecto empresarial, el cual busca generar un impacto social y ambiental, promoviendo el crecimiento industrial seguro y responsable en Colombia, el eje central de este proyecto será el adecuado diseño de procesos productivos que

permitan la óptima transformación del caucho, para lograr la meta propuesta se han implementado herramientas de ingeniería industrial tales como, el análisis de proyectos, el diseño industrial de procesos y prototipos para implementar el uso de las energías limpias con el fin de alimentar la planta industrial y artificios como depuradores de gases y partículas utilizados para eliminar la contaminación industrial generada a partir del proceso de vulcanización. También se han tomado herramientas clave de producción, como la logística inversa, para desarrollar un proceso de recuperación del caucho de llantas usadas que maximice el aprovechamiento del material obtenido, en este caso el caucho reciclado en estado pulverizado.

Es de vital importancia para este proyecto promover la aplicación del sistema de economía circular pues, como lo describe el señor Ken Webster Jefe de Innovación en la fundación Ellen MacArthur, formado en economía y cuidados medioambientales “Es aquella que se fundamenta en reducir, reusar y reciclar, a la vez que promueve que el valor de los productos, los materiales y los recursos, se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible y se reduzca la generación de residuos.” (Moreno, 2018)

**Palabras clave:** economía circular; reciclaje; vulcanización; innovación

### **Abstract**

*The design of innovative, optimal and environmentally friendly production processes for the vulcanization of virgin rubber and the recovery of used tires according to the circulareconomy, is a project that has been initiated from industrial engineering in order to implement these processes in VulcanoInnova, a business project whose productive activity will be directed to the transformation of rubber, from its virgin state to its final stage, which refers to the recovery and subsequent treatment of used tires. Vulcanization is the industrial process in which virgin rubber is heated in the presence of sulfur and chemical accelerators, making it more flexible and resistant. This process allows the emergence of new products such as vulcanized rubber, used in industries such as automotive for tire manufacturing or construction, on the other hand, is the recovery of used tires through a reverse logistics process, which allows to spray the rubber of the tires, making them raw material for other industrial activities such as paving and construction, the footwear industry and even the military industry.*

*In line with the guidelines of the business project, which seeks to generate a social and environmental impact, promoting safe and responsible industrial growth in Colombia, the central axis of this project will be the proper design of production processes that allow the optimal transformation of rubber, to achieve the proposed goal have been implemented industrial engineering tools such as, project analysis, industrial design of processes and prototypes to implement the use of clean energies in order to feed the industrial plant and artifices such as gas and particulate scrubbers used to eliminate industrial pollution generated from the vulcanization process. Key production tools, such as reverse logistics, have also been taken to develop a used tire rubber recovery process that maximizes the utilization of the material obtained, in this case recycled rubber in the pulverized state.*



*It is vitally important for this project to promote the implementation of the circular economy system because, as described by Mr Ken Webster Head of Innovation at the Ellen MacArthur Foundation, trained in economics and environmental care, "It is one that is based on reducing, reusing, and recycling, while promoting that the value of products, materials and resources, be maintained in the economy for as long as possible and waste generation is reduced." (Moreno, 2018)*

**Keywords:** circular economy; recycling; vulcanization; innovation

## 1. Introducción

Vulcanoinnova es una propuesta empresarial que busca elevar la industria colombiana a la categoría de industria colombiana desarrollada y responsable socio-ambientalmente, nuestro propósito es crear una industria que genere rentabilidad y a su vez sea generosa con el medio ambiente, como lo expresamos anteriormente, la vulcanización del caucho consiste en elevar a altas temperaturas la materia prima en presencia de azufre y acelerantes otorgándole características de flexibilidad y resistencia al caucho generado a partir del proceso; el producto terminado o caucho vulcanizado es utilizado en diferentes industrias como la automotriz para la producción de llantas y en la actualidad, se han realizado pruebas con el fin de implementar placas de caucho vulcanizado en el área de la construcción.

El proceso industrial que se debe llevar a cabo para lograr las características que aseguran la calidad del producto exige que la mezcla de los elementos mencionados anteriormente, sea llevada a altas temperaturas, las reacciones químicas generadas en presencia de calor generan gases tóxicos industriales que pueden contaminar el medio ambiente y poner en riesgo la integridad de los colaboradores, es allí donde surge la problemática que se ha convertido en nuestro objetivo a tratar, pues buscamos realizar el proceso de vulcanización sin que las personas y el ambiente se vean afectados, por esta razón hemos iniciado trabajos desde la ingeniería industrial en cuanto a investigación, innovación e invención de procesos industriales que no generen contaminación, en este caso, un proceso de vulcanización en el cual se elimine la emisión de gases.

Por otra parte, estamos trabajando en un plan estratégico para realizar la recolección y posterior reproceso de llantas que han cumplido con su ciclo de vida útil y que por diversas razones no se les ha dado un tratamiento adecuado, con este plan buscamos cumplir con el objetivo de hacer el reciclaje de llantas y por medio de un proceso de reingeniería, otorgarle nuevamente unas características a las llantas que parecían haber culminado su ciclo útil, con el fin de convertirlas en materias primas para la industria de la construcción o la fabricación de cerámicas.

En cuanto al tema de responsabilidad social, buscamos ser una empresa comprometida con el futuro de los Colombianos, por esta razón nuestra principal alianza será con las personas que trabajan actualmente en el reciclaje de llantas, pues para realizar el proceso misional de reciclaje, necesitamos aprovisionamiento, que es precisamente las llantas recicladas a las cuales se les va a realizar el reproceso, aliarnos con estas personas no solo nos permite obtener la materia prima trabajada en la línea de reciclaje sino también ofrecerles oportunidades laborales dignas a las



personas que cumplen con esta ardua labor, asegurando un mejor nivel en su calidad de vida y proyectando un mejor futuro para todos. Dentro de nuestros proveedores también encontramos los campesinos que se dedican a la recolección de caucho crudo o látex, al igual que las personas dedicadas al reciclaje buscamos que todos seamos beneficiados, de esta manera podremos proyectarnos a un crecimiento mutuo.

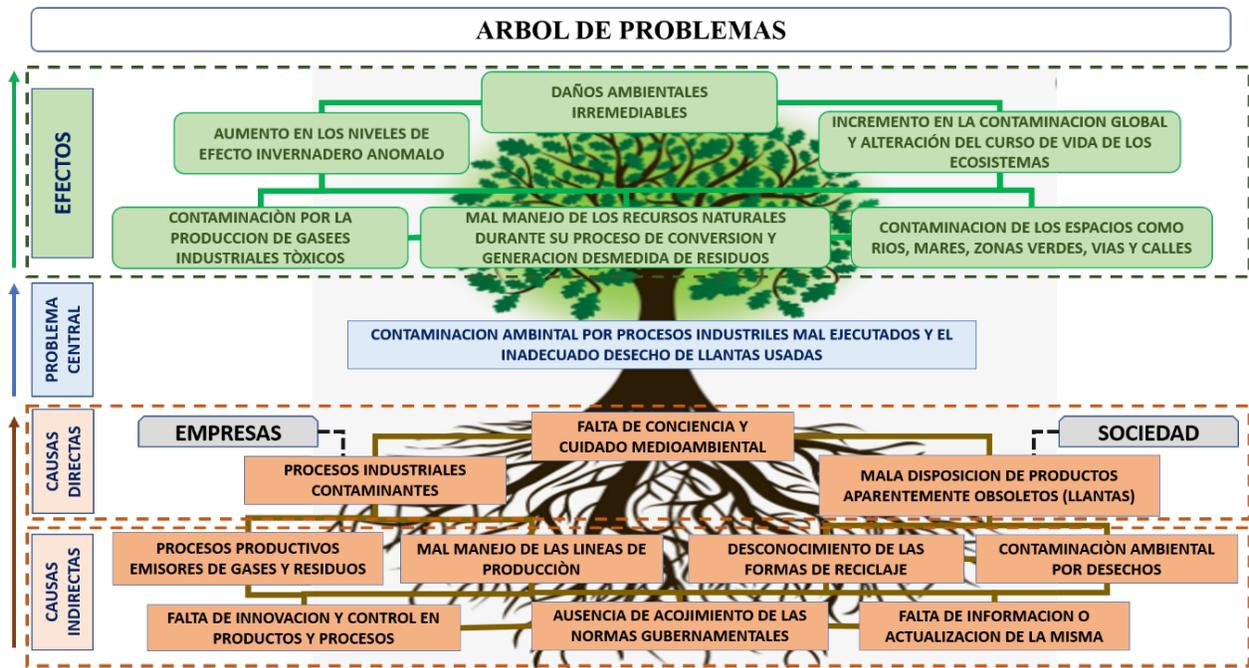
Buscamos implementar sistemas integrados de gestión, asegurando la calidad, la responsabilidad medioambiental y la salud y seguridad de los trabajadores, dentro de nuestro sistema de gestión de salud y seguridad en el trabajo buscamos cumplir los requisitos propuestos en la norma mediante una adecuada capacitación del personal que participe en las diversas actividades llevadas a cabo dentro de la organización para su correcto funcionamiento, creando lugares de trabajo seguros eliminando los riesgos laborales y equipándolos de los elementos de protección personal necesarios para que puedan desarrollar su trabajo salvaguardando su seguridad, en cuanto a temas de responsabilidad y cuidado medioambiental, la meta es crear procesos industriales óptimos, no contaminantes, es entonces el diseño en planta fundamental para poder hacer una correcta implementación de la intervención que se desea hacer desde la ingeniería como lo son los captadores y depuradores de gases para el proceso de vulcanización, a su vez esto tiene una relación directa con la calidad pues buscamos que la intervención llevada a cabo en los procesos se asegure no solo el cuidado del colaborador y del medioambiente sino la calidad de los productos, minimizando el número de no conformidades.

## **2. Planteamiento del problema**

Aplicando el marco de las siete preguntas logramos identificar y realizar el planteamiento del problema, estas preguntas nos permiten llegar al centro del problema que se está presentando y de esta manera crear estrategias que nos permitan abordarlo correctamente para darle una óptima solución.

- Pregunta 1 - ¿Cuál es el problema del cliente que se puede resolver?
- Pregunta 2 - ¿Cómo resolver el problema del cliente?
- Pregunta 3 - ¿Cuántos clientes están dispuestos a comprar?
- Pregunta 4 - ¿Por qué somos los únicos en poder ofrecer la solución?
- Pregunta 5 - ¿Cómo defenderemos nuestro producto o servicio de la competencia?
- Pregunta 6 - ¿Cuál es el impacto social en la población vulnerable y ambiental de la idea de negocio?
- Pregunta 7 - ¿En qué consiste la idea de negocio y cuál es la innovación?





**Figura 1.** Árbol de problemas

**Fuente.** Autoría propia

Luego de realizar el marco de las siete preguntas y el árbol de problemas hemos logrado identificar la problemática que se está presentando en la actualidad, es pues, un problema de contaminación ambiental por el constante desecho de llantas usadas y los procesos industriales contaminantes, en Colombia cada año se desechan entre 20 y 30 millones de llantas, esta cifra ha generado una alerta, llamando la atención de ingenieros industriales, químicos y ambientales pues deseamos buscar una solución óptima que permita dar fin a los problemas de contaminación del país.

Desde la ingeniería industrial buscamos desarrollar un proyecto orientado al procesamiento industrial del caucho reciclado para su conversión a otras materias primas utilizadas en diferentes industrias como la construcción o la producción de cerámicos, además buscamos darle un mejor manejo al proceso de vulcanización que se lleva a cabo al momento de producir la materia prima utilizada en los productos que luego reciclamos, las llantas. El desarrollo de métodos e instrumentos que nos permitan el correcto reciclaje del caucho de llantas y la implementación de un sistema de depuradores de partículas o limpiadores de gases para el proceso de vulcanización nos permitirán reducir hasta un 85% la contaminación ambiental generada por procesos de vulcanización y un 45% la contaminación ambiental por desecho de llantas.

Buscamos al momento de crear la empresa orientada al procesamiento del caucho en las formas anteriormente mencionadas, aplicar normas de salud y seguridad en el trabajo que promueven la creación de empleos dignos y seguro, para cumplir con el objetivo buscamos implementar planes de capacitación a los colaboradores, la creación de espacios de trabajo seguros y cómodos, promoviendo ambientes sanos y armónicos, así el colaborador podrá sentirse comprometido generando una identidad con la empresa, esto genera entre otros muchos



beneficios, el aseguramiento de la calidad de los productos que serán entregados al cliente.

### **3. Objetivo general**

Crear una empresa orientada a la vulcanización y reciclaje del caucho por medio de procesos industriales que permitan sacar el mayor provecho de la materia prima, nuestra meta es convertirnos en una de las compañías líder del sector industrial colombiano a mediano plazo y llegar a los grandes mercados a largo plazo, nos proponemos ser una empresa responsable medioambiental y socialmente.

### **4. Objetivos específicos**

Hacer uso de todas las habilidades, conocimientos y capacidades del grupo de trabajo con el fin de generar planeación, orden y dirección para proyectar de la mejor manera la idea de negocio.

Realizar diferentes estudios del mercado y de los movimientos que tienen actualmente las industrias, esto con el objetivo de crear pronósticos y minimizar el margen de error a la hora de realizar la implementación del proyecto.

Investigar acerca de los métodos medioambientales que mejor se acomoden a nuestro proyecto, de esta manera poder cumplir con la meta de ser responsables ambientalmente.

Capacitar a todos los integrantes en cuanto a salud y seguridad en el trabajo y bienestar del colaborador, con esto buscamos estar preparados para poder desarrollar nuestro proyecto de responsabilidad social y de esta manera implementar un buen plan de desarrollo.

### **5. Referente teórico**

#### ***Historia***

El descubrimiento de la vulcanización del caucho se atribuye al norteamericano Charles Goodyear. Por accidente, Goodyear volcó un recipiente con azufre y caucho encima de una estufa, endureciéndose la mezcla y volviéndose impermeable. Era el año de 1839. Denominó al fenómeno vulcanización en honor al dios Vulcano, deidad romana de los metales, el fuego y las fraguas. Sin embargo, un proceso similar a la vulcanización, era conocido ya 3.500 años antes por la cultura olmeca. Basado en el uso de savias y otros extractos de plantas, era utilizado para hacer pelotas de hule para juegos rituales.

Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí. El resultado final es un caucho más estable, duro y resistente, sin perder por ello la elasticidad natural. También transforma la superficie pegajosa del material en una



superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos. Este proceso daría lugar a un nuevo material, el látex. Con él, actualmente, se fabrica una gran cantidad de objetos, como neumáticos o preservativos. (FUNDACION DESCUBRE, 2012)

### ***Vulcanización del caucho***

El caucho natural sin curar es pegajoso, se deforma fácilmente cuando está caliente, y es frágil cuando está frío. En este estado, es un material pobre cuando un alto nivel de elasticidad es necesario. La razón de la deformación elástica de caucho vulcanizado puede ser encontrada en su estructura química. El caucho está compuesto por largas cadenas poliméricas. Estas cadenas se pueden mover de forma independiente entre sí, lo que le permite, al material, cambiar de forma. El entrecruzamiento introducido por la vulcanización impide que las cadenas del polímero se muevan de forma independiente. Como resultado, cuando se aplica un esfuerzo el caucho vulcanizado se deforma, pero al cesar el esfuerzo, el artículo vuelve a su forma original. (Mariano, 2012)

### ***Proceso de Vulcanización***

La vulcanización es generalmente irreversible, al igual que otros procesos de los plásticos termoestables y en contraste con los termoplásticos (el proceso de fusión y solidificación) que caracterizan el comportamiento de la mayoría de los polímeros modernos. El entrecruzamiento se hace generalmente con azufre, pero otras tecnologías son conocidas, incluyendo sistemas basados en peróxido orgánico. Los principales polímeros sometidos a vulcanización son poliisopreno (caucho natural) y caucho estireno-butadieno (SBR). La técnica y conjuntos de compuestos de curado (paquete de cura) se ajusta específicamente para el sustrato y la aplicación. Los sitios de reacción (sitios de cura), son los átomos de hidrógeno alílicos. Estos enlaces CH están al lado de enlaces doble carbono-carbono. Durante la vulcanización, algunos de estos enlaces CH son reemplazados por cadenas de átomos de azufre que enlazan con un sitio de cura de otra cadena de polímero. Estos puentes contienen entre uno y ocho átomos de azufre. El número de átomos de azufre en el entrecruzamiento influye fuertemente en las propiedades físicas del artículo de caucho terminado. Entrecruzamientos cortos dan a la goma mejor resistencia al calor. Enlaces cruzados con mayor número de átomos de azufre dan a la goma buenas propiedades dinámicas pero menor resistencia al calor. Las propiedades dinámicas son importantes para los movimientos de flexión del artículo de caucho, por ejemplo, el movimiento de una pared lateral de un neumático en funcionamiento. Sin buenas propiedades de flexión estos movimientos forman rápidamente grietas y, en última instancia, hacen que el artículo de goma se quiebre. (Mariano, 2012)

### ***Método de Vulcanización con azufre***

Los métodos más comunes de vulcanización dependen del azufre. El azufre, por sí mismo, es un agente de vulcanización lento y no vulcaniza poli olefinas sintéticas. Incluso con caucho natural, grandes cantidades de azufre, así como altas temperaturas y largos períodos de calentamiento son necesarios y se obtiene una eficiencia de entrecruzamiento insatisfactorio con propiedades de resistencia y de envejecimiento insuficiente. Sólo con acelerantes de vulcanización se puede lograr la calidad adecuada. La multiplicidad de los efectos de vulcanización



demandados, no se puede lograr con un compuesto universal. Son necesarios un gran número de aditivos diversos, que comprenden el "paquete de cura" o sistema de vulcanización. Los métodos para la vulcanización pueden ser:

- Azufre solo
- Azufre convencional y aceleradores
- Baja cantidad de azufre y aceleradores
- Sistema donador de azufre (Mariano, 2012)

Como se muestra en la figura 1, la reacción química generada durante el proceso de vulcanización con azufre de poliisopreno.

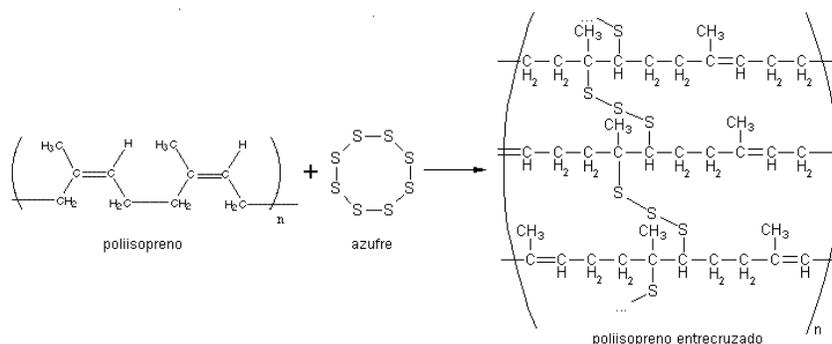


Figura 1 Vulcanización con azufre de poliisopreno. Mariano. 2012

Tomado de. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/vulcanizacion.html>

## 6. Metodología

Uno de los procesos industriales que se llevará a cabo dentro de la empresa consiste en la vulcanización del caucho haciendo uso del método de vulcanización con azufre y aceleradores, este método nos exige elevar la mezcla a ciertas temperaturas, hacer uso del azufre y de otros acelerantes en las medidas adecuadas es de vital importancia pues aseguran el correcto funcionamiento químico durante la etapa de vulcanización y la calidad del producto final.

Llevar a cabo este proceso industrial genera una alta emisión de gases tóxicos que pueden llegar a la atmosfera no solo contaminando el ambiente sino también poniendo en peligro la vida de los colaboradores que están a cargo del proceso. Por esta razón desde la ingeniería buscamos desarrollar un sistema de captación, depuración y limpieza de gases, con el fin de que los gases generados a partir de la vulcanización no lleguen a la atmosfera sin antes pasar por el sistema para su tratamiento.

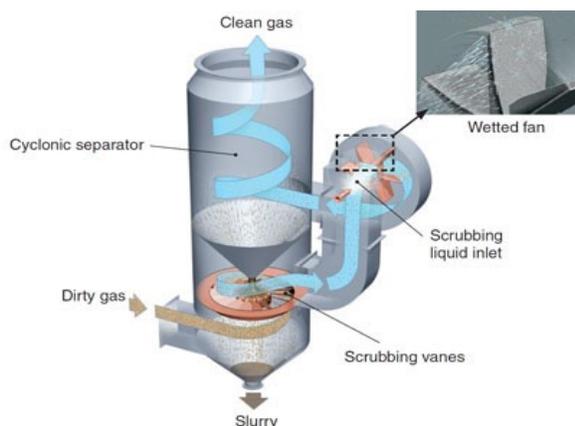
El desarrollo de este sofisticado sistema es la forma en la que buscamos hacer nuestro aporte al cuidado medioambiental pues esperamos que la contaminación generada por la empresa tenga una disminución inicial de hasta en un 85%



Además de contar con la implementación de un innovador sistema en el proceso de vulcanización del caucho, esperamos desarrollar un nuevo sistema que nos permita utilizar los gases para la producción de energía, dicha energía podrá alimentar la planta productiva de vulcanoinnova en compañía de otras energías renovables como los paneles solares, pues no solo buscamos innovar en nuestros procesos sino también implementar energías limpias que apacigüen el cambio climático y la contaminación que tanto nos preocupa como empresa consciente y responsable.

En cuanto al proceso de reciclaje, trabajamos en la creación de una línea de producción que se ajuste a las características que deseamos otorgar al producto final, por esta razón, trabajamos en el diseño del proceso, en sus diversas etapas de pretratamiento y limpieza, trituración, controles de calidad y reformulación.

### ***Innovación en procesos y uso de energías renovables***



Lo que se muestra en la figura 2, es un limpiador de gases, el ciclo inicia cuando los gases contaminados ingresan al depurador, allí son recibidos por diferentes filtros que se encargan de captar las moléculas nocivas evitando su salida al medio ambiente.

*Figura 2 Limpiador de gases Tomado de. Mikropul Nederman <https://www.nedermanmikropul.com/es-mx/products/wet-scrubbers/dynamic-scrubber-with-integral-wetted-fan>*

En la figura 3, Energías renovables, se aprecian paneles solares que recolectan la energía natural procedente del sol, con la implementación de estos paneles se busca suministrar energía a la planta donde se llevan a cabo las actividades productivas de la empresa.

*Figura 3 Energías renovables - uso de paneles solares.  
Tomado de. El Cronista  
<https://www.cronista.com/negocios/El-mundo-invirtio-mas-en-energia-solar-que-en-cualquier-otra-fuente-durante-2017-20180412-0009.html>*



Dentro del sistema limpiador de gases actúan diferentes elementos, por ejemplo, un medidor de gas tipo turbina que, junto a una electroválvula trabajan como herramienta poka yoke, esto permite un paso controlado de los gases al limpiador asegurando, no solo, una mayor eficiencia

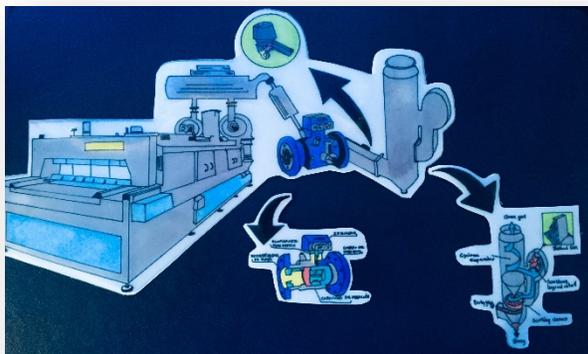


Figura 4 Proceso de implementación del sistema limpiador de gases. Autoría Propia

sino también el control del proceso, ya que si el medidor detecta anomalías en los niveles de gas emitido, este se encarga de enviar una señal de stop al horno de esta manera se detiene el proceso y se activa una señal luminosa andón para alertar al operario, de esta manera se hace la revisión de la maquina por parte del operario de forma segura.

La figura 4 muestra el sistema limpiador de gases.

## 7. Conclusiones

Esperamos al finalizar el proyecto contar con la mejor planeación, diseños de planta y procesos innovadores que nos permitan ofrecer a los clientes productos confiables y de calidad, una gerencia que garantice la estabilidad de la empresa, ser realmente responsables social y ambientalmente, aportando nuestro granito de arena al crecimiento no solo de las industrias sino de toda Colombia, ser una empresa prometedora y confiable.

Con la aplicación de las herramientas de Ingeniería Industrial se ha logrado el avance en la formulación y desarrollo del proyecto, la apropiación del conocimiento teórico y práctico, el asumir el reto de contribuir a la sociedad en procesos que mejoren el medio ambiente para esta y próximas generaciones son factores que motivan a la obtención del logro.

## 8. Referencias

- Agency, E. E. (2016). *Circular Economy in Europe*. Luxembourg.
- Aparicio Gomez, J. M. (2014). Unidad 1. La gestión Logística. En J. M. Aparicio Gomez, *Gestión Logística y Comercial* (pág. 8). Mc Graw Hill.
- AQICN. (1 de marzo de 2021). *Contaminación del Aire de América Latina*. Obtenido de Mapa de la Calidad del Aire en tiempo real: <https://aqicn.org/map/latinamerica/es/>
- Carter, & Ellram. (1998). Logística Inversa en la gestión de la cadena de suministro. En D. Cabeza, *Logística Inversa en la gestión de la cadena de suministro* (pág. 25). Barcelona: Marge Books - Valencia.
- Castro, G. (diciembre de 2007). Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. *Reutilización y reciclado de neumáticos fuera de uso*.
- Contaminación del Aire de MinAmbiente (ICA). (1 de marzo de 2021). AQICN. Obtenido de MINAMBIENTE, BOGOTÁ: <https://aqicn.org/city/colombia/bogota/minambiente/>



- Corrillo Machicado, F., & Gutierrez Quiroga, M. (mayo de 2016). *Revistas Bolivarianas*. Obtenido de Estudio de localización de un proyecto: [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2305-60102016000100005&lng=es&nrm=iso#:~:text=Localizaci%C3%B3n%20de%20un%20Proyecto,-En%20el%20estudio&text=\(Sapag%20Chain%202004\).,y%20urbano%20de%20alguna%20regi%C3%B3n.&text=Local](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2305-60102016000100005&lng=es&nrm=iso#:~:text=Localizaci%C3%B3n%20de%20un%20Proyecto,-En%20el%20estudio&text=(Sapag%20Chain%202004).,y%20urbano%20de%20alguna%20regi%C3%B3n.&text=Local)
- Distrito Capital. (2011). Resumen Ejecutivo. *Diagnostico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados en el parque automotor de Santa fe de Bogotá*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Dominguez, A. J. (2000). *Instalación y puesta en marcha de una planta de vulcanizado de calzados*. Obtenido de <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6872/1/TesisPDF.pdf>

## Sobre la autora

- **Daniela Valentina Moreno González:** Estudiante de décimo semestre de ingeniería industrial, [daniela.morenog@uniagustiniana.edu.co](mailto:daniela.morenog@uniagustiniana.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

