

# “Diseño de una Máquina para Desbarbado Criogénico de Piezas de Caucho Moldeadas Tipo Agitador”

Gonzalo Almeida Pazmiño<sup>1</sup>, Ernesto Martínez Lozano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico 2006; Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción – Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Campus Gustavo Galindo V. Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09 01 5863,  
Guayaquil, Ecuador  
[galmeida@espol.edu.ec](mailto:galmeida@espol.edu.ec)

<sup>2</sup>Ingeniero Mecánico; Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción – Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983., Profesor de ESPOL desde 1983..  
Campus Gustavo Galindo V. Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09 01 5863,  
Guayaquil, Ecuador  
[emartine@gu.pro.ec](mailto:emartine@gu.pro.ec)

## Resumen

*Este trabajo consiste en el diseño de una máquina desbarbadora que utiliza un sistema criogénico para la eliminación de rebabas en piezas de caucho después de un proceso de moldeo, el cual tiene como objetivo disminuir el empleo de mano obrera y evitar accidentes provocados por la manipulación de objetos cortopunzantes para realizar el desbarbado.*

*La metodología empleada en este proyecto es de tipo investigativo y experimental, fundamentado en los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería Mecánica de ESPOL y en las consultas técnicas a personas relacionadas con el proceso.*

*En este proyecto se realiza la descripción de la máquina en la cual se explica el funcionamiento de cada una de las partes que la conforman, consiguiendo un diseño de forma de la misma.*

*Empleando los conocimientos básicos de ingeniería y por medio de análisis, cálculos y ensayos apropiados se diseñan los componentes de la máquina indicando los parámetros y seleccionando los dispositivos.*

*Con este estudio se obtiene como resultados el mejoramiento del acabado superficial y la disminución en los costos de producción de las piezas de caucho moldeadas, demostrando que es un proyecto rentable que se lo puede realizar con recursos humanos y tecnológicos nacionales.*

## Abstract

*This work consists on the design of a deflashing machine that uses a cryogenic system for the elimination of flashes in rubber parts after a process of shaping, which has as objective to diminish the employment of hand worker and to avoid accidents caused by the manipulation of short-piercing objects to carry out the deflashing.*

*The methodology used in this project is of investigative and experimental type, based in the knowledge acquired in the Faculty of Mechanical Engineering of ESPOL and in the technical consultations to people related with the process.*

*In this project, a description of the machine is carried out, in which the operation is explained of each one of the parts that conform it, getting a design in way of the same one.*

*Using the basic knowledge of engineering and by means of analysis, calculations and appropriate rehearsals the components of the machine are designed, indicating the parameters and selecting the devices.*

*With this study, the improvement of the superficial finish and the decrease in the costs of production of the modeled rubber pieces is obtained as results, demonstrating that it is a profitable project that can be carried out with human resources and technological national.*

## **1. Introducción**

Antiguamente para la remoción de las imperfecciones de piezas moldeadas, ya sean de caucho u otros elastómeros, se utilizaban navajas, tijeras y otros métodos manuales, obteniendo así un producto con un acabado superficial aceptable. Con el desarrollo de la industria de los elastómeros, surgieron nuevos productos los cuales demandaban un mejor aspecto, no solo visual sino también en términos de tolerancias y ajustes de piezas para el ensamble de máquinas. Por lo cual, los métodos convencionales no satisfacían los requerimientos y es así que aparecen nuevos métodos con mayor eficiencia en el trabajo de remoción de desperfectos.

Uno de los métodos de remoción de imperfecciones de piezas moldeadas más eficiente y utilizado en los últimos cincuenta años a nivel mundial es el Desbarbado Criogénico, el cual es un proceso que utiliza un sistema criogénico y energía cinética para remover las rebabas que sobresalen en las piezas después del proceso de moldeo.

Con el Desbarbado Criogénico se obtiene un mejor acabado superficial en las piezas moldeadas aprovechando las ventajas de las máquinas y los avances tecnológicos, evitando así el uso de métodos manuales y los peligros que estos conllevan. Alemania es uno de los países pioneros en el desarrollo de esta tecnología, quienes actualmente son líderes en la comercialización de las máquinas de desbarbado a nivel mundial, acaparando a su vez el mercado ecuatoriano.

Con el libre mercado y la fuerte competencia internacional las industrias ecuatorianas deben buscar nuevas formas de fabricar productos de excelente calidad, en menor tiempo y con bajos costos de inversión. Para conseguir esto las empresas deben aprovechar el avance tecnológico disponible y nuevos métodos de producción para reemplazarlos por los actuales.

Mediante este proyecto, propongo el **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA DESBARBADO CRIOGÉNICO DE PIEZAS DE CAUCHO MOLDEADAS TIPO AGITADOR”**, para empresas productoras de elementos de caucho fabricados mediante

procesos de moldeo, consiguiendo así una mayor producción, menor empleo de mano de obra y una excelente calidad.

## **2. Descripción de los Componentes de la Máquina para Desbarbado Criogénico**

El desbarbado criogénico es un proceso en el cual piezas moldeadas de caucho y plástico se fragilizan utilizando nitrógeno líquido o dióxido de carbono para remover las rebabas que sobresale en el material después del proceso de moldeo por medio de energía cinética. La energía cinética resulta de un tambor rotatorio (agitador) o de gránulos plásticos los cuales son disparados por una rueda de tiro que da vuelta (tiro destructor).

Para realizar un proceso de desbarbado criogénico es necesario utilizar un refrigerante lo suficientemente eficiente como para fragilizar las rebabas que se producen en el proceso de moldeo de las piezas de caucho, pero sin afectar la calidad de la pieza. Se conoce dos refrigerantes muy usados en el proceso de desbarbado criogénico que son el nitrógeno líquido (LIN) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), siendo el más eficiente el nitrógeno líquido ya que alcanza temperaturas más bajas, por lo cual se selecciona como refrigerante de trabajo para la máquina a diseñar.

El material de construcción de la máquina sería el acero inoxidable porque posee las siguientes características:

- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia mecánica superior a los aceros de bajo carbono;
- Facilidad de limpieza / baja rugosidad superficial;
- Apariencia higiénica;
- Material inerte: no altera el color, el gusto o el olor de los alimentos;
- Facilidad de conformación;
- Facilidad de soldadura / aleación;
- Mantiene sus propiedades dentro de una franja muy amplia de temperatura, incluso temperaturas muy bajas (criogénicas);
- Acabados superficiales variados;
- Visualmente atractivo (modernidad, ligereza y prestigio);
- Relación costo / beneficio muy favorable;
- Bajo costo de mantenimiento;
- Material 100% reciclable.

La diseño de la máquina esta basada en la producción de una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil, la cuál se dedica a manufacturar piezas moldeadas de caucho de diferentes formas y tamaños, proponiendo de esta manera mejorar la eficiencia de su línea de producción.

La capacidad de la máquina es de 70 l y con un tiempo de trabajo de aproximadamente 30 min.

La máquina de desbarbado criogénico posee los siguientes componentes básicos:

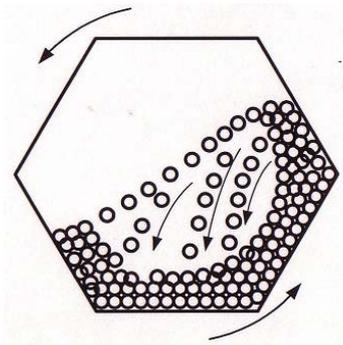
1. Cuerpo

2. Árbol inyector
3. Rodamientos
4. Estructura de soporte
5. Cubeta de recolección
6. Motor

## 2.1. Cuerpo

El cuerpo es el componente principal de la máquina para desbarbado criogénico, porque es en este donde se lleva a cabo el proceso. La forma del cuerpo es prismática, teniendo como sección transversal un área hexagonal, consiguiendo de esta forma eficiencia al momento de desbarbar.

El cuerpo esta formado por un tambor construido de acero inoxidable con un espesor tal que resista las presiones y las temperaturas que en ella se puedan dar. Este tambor es recubierto por una capa de aislante térmico para mantener una temperatura estable y conseguir un buen desbarbado con el espesor correcto. El material del aislante puede ser espuma de poliuretano.



**Figura 1.** Tambor para Desbarbado

Luego, se recubre el aislante con otra plancha de acero inoxidable para darle estabilidad al tambor con el espesor indicado para que las paredes no tiendan a flexarse debido a la presión interna que se produzca.



**Figura 2.** Piezas Después del Proceso de Desbarbado

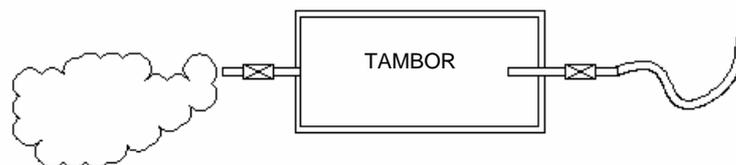
El principio de funcionamiento del cuerpo es el siguiente:

1. Se ingresa manualmente los valores de temperatura y tiempo de trabajo en una base de datos, los cuales sirven como parámetros de funcionamiento.
2. Se realiza manualmente la apertura de la tapa del cuerpo para cargar de piezas moldeadas de caucho a ser desbarbadas.
3. Una vez ingresadas las piezas de caucho, se cierra la tapa del cuerpo.
4. La temperatura interna del tambor es llevada a temperatura de trabajo mediante la inyección de nitrógeno líquido.
5. Se procede a darle movimiento de rotación al cuerpo durante el tiempo de trabajo requerido, consiguiendo que las piezas choquen unas contra otras, a la vez que se sigue inyectando el refrigerante de acuerdo a la temperatura interna de la cámara.
6. Una vez terminado el tiempo de desbarbado, se deja de inyectar nitrógeno al cuerpo a la vez que se apaga el motor que le da el movimiento de rotación al cuerpo.
7. Se despresuriza la cámara interna dejando escapar el nitrógeno gaseoso hasta que la temperatura interna manométrica sea igual a cero.
8. Finalmente, se realiza la apertura manual de la tapa del cuerpo para retirar las piezas desbarbadas criogénicamente y volver a colocar la tapa en la ubicación de cierre.

## 2.2. Árbol inyector

El árbol inyector es un eje cilíndrico de acero inoxidable, mediante el cual el refrigerante líquido ingresa al tambor y a su vez sirve como purga del gas. Es decir, el árbol posee un agujero central en el que se transporta el nitrógeno líquido del acople de entrada hasta el interior del tambor, el refrigerante se satura convirtiéndose en gas y después se escapa por otro agujero del eje cilíndrico.

Para conseguir esto el árbol inyector está dividido en dos partes, ubicadas cada una en las dos caras laterales del prisma, sirviendo a su vez como apoyo del tambor. Una parte es por donde ingresa el nitrógeno y la otra es por donde sale. La parte del eje que sirve como entrada debe sobresalir por lo menos unos 2 cm dentro del tambor para poder refrigerar bien las piezas de caucho.



**Figura 3.** Esquema del Árbol Inyector

La otra parte del eje, es decir por donde purga el gas, debe tener en su agujero una malla que sirva como filtro y de esta forma asegurarse que solo salga gas y no alguna partícula de rebaba o a su vez piezas de caucho de tamaño pequeño que puedan salir con

facilidad a través del agujero de escape. Preferiblemente la malla debería ir en el interior de la cámara de agitación.

### 2.3. Rodamientos

El árbol inyector estará apoyado sobre dos rodamientos rígidos de bola de contacto angular, uno en cada parte del mismo, el cual podrá girar con facilidad. Las características que los rodamientos deben tener es que tengan gran resistencia a las fuerzas radiales, resistencia a las bajas temperaturas, ya que no debe haber problemas de enfriamiento del lubricante para que exista una buena rotación de los elementos rodantes, además deben ser de larga duración y de fácil mantenimiento.



**Figura 4.** Componentes Principales de los Rodamientos Rígidos de Bolas

### 2.4. Estructura de soporte

Todo el conjunto que conforma la máquina va a estar soportado por una estructura metálica, la cual va a someterse a fuerzas axiales y momentos, y a su vez debe resistir pequeñas vibraciones que se producen por el movimiento cíclico del tambor giratorio.

Los perfiles que se necesite para formar la estructura se seleccionará de acuerdo a su resistencia a la fluencia, con el factor de seguridad tal que garantice un buen diseño para un correcto funcionamiento de la maquinaria.



**Figura 5.** Estructura de Soporte de la Máquina

En este proyecto de tesis se tratara de diseñar una estructura de soporte lo más simple posible para que su costo sea menor y la capacidad de movilización sea beneficiosa, es decir de poco peso.

## **2.5. Cubeta de recolección**

Después del proceso de acabado de las piezas de caucho, estas se recolectan en una cubeta metálica, en la cual se separa las piezas, del escombros de rebabas que se producen, además de los medios sólidos que facilitan el trabajo de desbarbado mediante una malla fina.

La cubeta metálica será diseñada de tal forma que sea de fácil manejo para el operador de la maquina. La forma de la cubeta será cúbica, con cuatro ruedas en la parte inferior para su movilización, además de un mango para el manejo por parte del operador. El material de construcción de la misma será de acero inoxidable. El volumen de contención debe ser mayor a la capacidad de la máquina.

## **2.6. Motor**

A menos que se opere manualmente, la máquina requerirá algún dispositivo impulsor para proporcionar el movimiento y energía de entrada. Hay muchas posibilidades; si se requiere un movimiento rotatorio continuo de entrada, entonces un motor es la opción más lógica.

Para la máquina a diseñar se empleará un motor eléctrico que cumpla con los requerimientos de potencia y velocidad y de esta manera realizar un buen proceso de acabado.



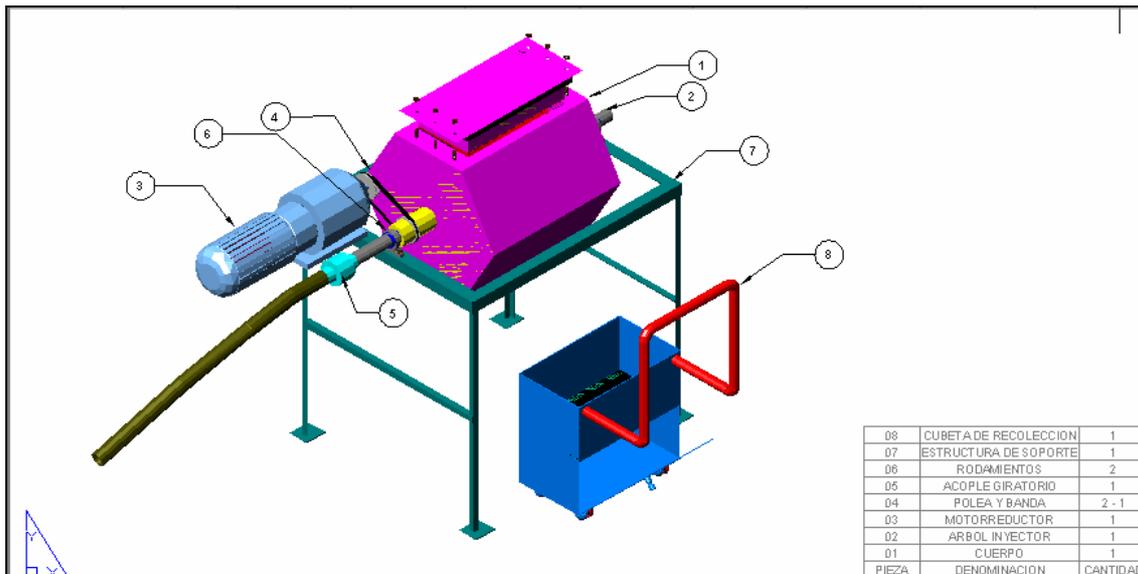
**Figura 6.** Motor Eléctrico

Se puede emplear un dispositivo de poleas para lograr reducir la velocidad del motor al cual estaría acoplado y conseguir el giro apropiado del tambor, o simplemente se puede utilizar un motor eléctrico con variador de velocidad. Su elección será de acuerdo a la conveniencia económica del usuario de la máquina y de sus capacidades de transmisión.

### 3. Características de la Máquina Diseñada

La máquina para desbarbado criogénico diseñada posee las siguientes características:

Capacidad	70 L
Refrigerante	Nitrógeno Líquido (LIN)
La Más Baja Temperatura de Operación	-130 °C
Temperatura Ideal de Trabajo	1.7 a 2.5 bar
Tiempo de Ciclo	De 1 a 30 min.
Velocidad de Giro	60 R.P.M.
Torque	37.5 N*m
Potencia Requerida del Motor	0.37 KW
Diámetro Interno del Tambor	412 mm (de plano a plano)
Longitud Interna	476 mm
Dimensiones	1029 mm de largo * 852 mm de ancho * 1119 mm de alto
Puerta de Apertura	238 mm * 476 mm
Espesor de Aislamiento Térmico	70 mm
Espesor del Tambor	4 mm
Espesor de la Capa Externa	2.5 mm
Dimensiones del Árbol Inyector	Tubo de ½" SCH 40 de 275 mm de largo
Pernos de Sujeción de la Puerta	6 pernos de ½-13UNC-2A SAE 5.2
Rodamientos	2 cojinetes rígido de bolas NTN 7010
Perfiles que Conforman la Estructura de Soporte	10 ángulos de 25 * 25 * 3 mm y 4 ángulos de 50 * 50 * 3 mm
Dimensiones de Estructura de Soporte	1029 mm de largo * 852 mm de ancho * 1000 mm de alto
Costo de Construcción de la Máquina	



**Figura 7.** Máquina Para Desbarbado Criogénico Tipo Agitador

#### 4. Conclusiones

En la fabricación de las piezas de caucho se debe dejar siempre en los moldes un espacio apropiado para que se produzca las rebabas, ya que por medio de ésta se escapa el aire que se encuentra dentro de las cavidades.

La selección del proceso de desbarbado criogénico para un tipo de piezas de caucho moldeadas en específico, se debe realizar considerando el tipo y la localización de la rebaba que tenga, ya que el método de desbarbado criogénico de tiro destructor siempre será mas eficiente para rebabas mas complejas.

En el diseño de este tipo de máquina para desbarbado criogénico, cuya forma de sección transversal es hexagonal, se debe considerar al cuerpo como un cilindro hueco, ya que tiene como sección transversal un círculo que tiene infinitos lados.

En la selección del fluido de trabajo se consideró, de entre el nitrógeno líquido y el dióxido de carbono, cual de ellos tiene mayor poder de congelamiento con poca cantidad de masa, siendo el mas eficiente el nitrógeno.

En la selección de materiales para la construcción de la máquina se consideró tanto su resistencia a la corrosión, como su resistencia al impacto y altas presiones a bajas temperatura y el fácil mantenimiento.

La operación de la máquina fue diseñada para trabajar a la mitad de su capacidad que es 35 L, el cual tendría una masa de 13 Kg de caucho aproximadamente.

En el diseño de la estructura de soporte, se consideró a parte de su resistencia a la carga que va a ser sometida, la estética apropiada para este tipo de máquinas.

La estructura de soporte sería construido de acero estructural ASTM A36, que luego de ser analizado en el programa SAP2000 se comprobó que los perfiles elegidos para su fabricación tiene una alta resistencia.

En el diseño del espesor de aislante apropiado para que la máquina no tenga problemas de congelamiento en la superficie, se realizó una curva de Espesor vs. Temperatura superficial para seleccionar el espesor apropiado en función de la temperatura de punto de rocío.

En la selección de los componentes de control de tiempo, temperatura, presión y caudal, se realizó un diagrama de flujo del proceso de trabajo, para determinar el número de componentes que se necesitan para obtener un desbarbado eficiente.

## 5. Referencias

GALAN ANGEL, “Selección de una Central Oleohidráulica para Reemplazar Método Manual en la Fabricación de Accesorios de Caucho” (Informe Técnico, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1998).

CIESIELSKI ANREW, An Introduction to Rubber Technology, First Edition, 1999.

LINDE AGA, Técnicas de desbarbado criogénico (catalogo), 2001.

VARGAS ANGEL, Mantenimiento de Rodamientos y Cojinetes (catalogo).

BROWN – LeMAY – BURSTEN, Química: La Ciencia Central, quinta edición, 1993.

POPOV EGOR, Introducción a la Mecánica de Sólidos, primera edición, 1976.

NORTON ROBERT, Diseño de Máquinas, primera edición, 1999.

MELGAREJO PABLO, Cámaras Frigoríficas y túneles de enfriamiento Rápido, primera edición, 2000.

FERNANDEZ PEDRO, Ingeniería Térmica y de Fluidos, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Mecánica de la Universidad de Cantabria.

BEER – JOHNSTON, Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica, quinta edición, 1990

NTN, Manual de rodamientos, 2003.

LINDE AGA, Catálogo de Electrodo Comunes, Especiales y Gases para Corte y Soldadura, 2005

[http://www.acesita.com.br/esp/interno.php?area=inox\\_o\\_que\\_sao](http://www.acesita.com.br/esp/interno.php?area=inox_o_que_sao), ¿Qué es Acero Inoxidable?