



*Diseño de una máquina extrusora para la obtención de agregados utilizando neumáticos y botellas recicladas siguiendo la norma ASTM E11*

*Design of an extruder machine to obtain aggregates using tires and recycled bottles following the ASTM E11 standard*

*Projeto de uma máquina extrusora para obtenção de agregados utilizando pneus e garrafas recicladas seguindo a norma ASTM E11*

Fabian Bastidas <sup>I</sup>

[fabian.bastidas@esPOCH.edu.ec](mailto:fabian.bastidas@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-2723-9870>

Santiago López <sup>II</sup>

[sa\\_lopez@esPOCH.edu.ec](mailto:sa_lopez@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-3192-1084>

Christian Flores <sup>III</sup>

[giovanni.flores@esPOCH.edu.ec](mailto:giovanni.flores@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8003-1619>

Darwin Vásconez <sup>IV</sup>

[darwin292vasconez@gmail.com](mailto:darwin292vasconez@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-5930-3494>

**Correspondencia:** [fabian.bastidas@esPOCH.edu.ec](mailto:fabian.bastidas@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2022 \* **Publicado:** 12 de julio de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Investigador Independiente, Ecuador.



## Resumen

El objetivo de este proyecto fue diseñar, simular y validar una máquina extrusora para la obtención de agregados a base de botellas plásticas y neumáticos reciclados siguiendo la norma ASTM E11. Los componentes mecánicos de la máquina fueron calculados y diseñados teóricamente, para posterior ser diseñados mediante SolidWorks, conjuntamente se realizó análisis de esfuerzos y deformaciones con el software empleado para el diseño y mediante ANSYS. La validación se obtuvo gracias a los resultados arrojados por simulación. Se ejecutó la simulación estática para elementos como el husillo y la estructura, simulación dinámica para determinar vibraciones en la estructura y analizar esfuerzos en el sistema de transmisión por engranes y simulación térmica para analizar el comportamiento de la fuente de calor en el proceso de extrusión. Se concluye que el diseño de la máquina extrusora ofrece un correcto funcionamiento y es rentable construir y emplearla para la obtención de agregados.

**Palabras Clave:** extrusión; husillos; máquina extrusora; simulación estática; despliegue de la función de calidad (QFD).

## Abstract

The objective of this project was to design, simulate and validate an extruder machine to obtain aggregates based on plastic bottles and recycled tires following the ASTM E11 standard. The mechanical components of the machine were calculated and designed theoretically, to later be designed using SolidWorks, jointly stress and strain analysis was performed with the software used for the design and through ANSYS. The validation was obtained thanks to the results obtained by simulation. Static simulation was performed for elements such as the screw and the structure, dynamic simulation to determine vibrations in the structure and analyze efforts in the gear transmission system, and thermal simulation to analyze the behavior of the heat source in the extrusion process. It is concluded that the design of the extruder machine offers a correct operation and it is profitable to build and use it to obtain aggregates.

**Keywords:** extrusion; spindles; extruder machine; static simulation; quality function deployment (QFD).

## Resumo

O objetivo deste projeto foi projetar, simular e validar uma máquina extrusora para obtenção de agregados à base de garrafas plásticas e pneus reciclados seguindo a norma ASTM E11. Os componentes mecânicos da máquina foram calculados e projetados teoricamente, para posteriormente serem projetados em SolidWorks, foi realizada análise conjunta de tensões e deformações com o software utilizado para o projeto e através do ANSYS. A validação foi obtida graças aos resultados obtidos por simulação. Simulação estática foi realizada para elementos como parafuso e estrutura, simulação dinâmica para determinar vibrações na estrutura e analisar esforços no sistema de transmissão de engrenagens e simulação térmica para analisar o comportamento da fonte de calor no processo de extrusão. Conclui-se que o projeto da máquina extrusora oferece um funcionamento correto e é rentável construí-la e utilizá-la para obter agregados.

**Palavras-chave:** extrusão; fusos; máquina extrusora; simulação estática; desdobramento da função de qualidade (QFD).

## Introducción

La contaminación es una problemática de gran impacto en la actualidad, se da por la inconciencia del ser humano al desechar la basura en las calles, ríos, etc. La consecuencia de esta se evidenciará cuantiosamente a futuro, ya que al no poder manejar esta situación dicha problemática aumentaría. Se ve la necesidad de implementar maquinaria que sirva de aporte para la descomposición, para así obtener agregados como materia prima y reutilizarlos en una gran variedad de aplicaciones como la elaboración de materiales de construcción.

La extrusión trata de un proceso industrializado continuo, teniendo como objetivo forzar el material plástico al salir por una boquilla de conformado. Las funciones principales de estas máquinas son: comprimir la materia prima y llevar hasta el punto de fusión el material, de esta manera poder extruirlos. Con este proceso se puede reutilizar los materiales reciclados y obtener materia prima para usos futuros.

La presente investigación tiene como finalidad el diseño de una máquina extrusora, que consta de un solo husillo por ser el más adecuado para la extrusión del material plástico, el diseño va de acuerdo a la necesidad, el material es de acero con propiedades mecánicas aptas para este proceso y resistentes a trabajos a alta temperatura.

#### -Extrusión

De acuerdo con (Groover, 2007) la extrusión trata de un proceso de formado por medio de compresión, donde se forzará al material, a pasar por un eje a diferente temperatura, hasta llegar a la salida del cilindro para dar la forma final del producto. Este procedimiento se lo ha usado por muchos años para extruir metales. Es un proceso sistemático para la obtención de materiales. Este proceso no solo es utilizado para plásticos, también se los utiliza para otros tipos de productos.

#### -Extrusora de husillos

El husillo se encarga de llevar el material fundido y mezclado por el cilindro, aplicando presión hasta la boquilla de conformado. Los husillos son tornillos que sus diámetros, longitudes y diseños varían de acuerdo a la necesidad; por ende, existe configuración de máquinas con un husillo y doble husillo.

#### - Análisis QFD

El despliegue de la función de la casa de la calidad es un procedimiento utilizado para el diseño de un producto o un servicio que abarca las demandas y las expectativas de los usuarios o clientes, transformando estos requerimientos en datos técnicos y operativos que sean satisfactorios y cumplan la demanda del mercado. Denominado matriz de la calidad, resultando una tabla que se relaciona con la voz de cliente y la voz del ingeniero permitiendo ser operativa a la voz del usuario. Esta matriz se caracteriza por ser cualitativo, debido a que obtuvo resultados estadísticos. Es una herramienta muy utilizada en el diseño de nuevos productos.

#### -Norma ASTM E11

La norma ASTM E11 es aplicado para realizar análisis granulométrico de las partículas, mediante pruebas de tamizado, la distribución del tamaño de las partículas permite la clasificación del material y la adaptabilidad al diseño propuesto. Utilizados para gran cantidad de pruebas en materiales de construcción (ASTM-SUBCOMMITTE-329.01, 2015).

#### -Plásticos

Los plásticos son polímeros denominados polietileno tereflato o PET con propiedades deformativas, estos materiales están compuestos de polímeros de origen natural. Tienen como elemento principal el carbono combinado con hidrogeno, oxígeno, nitrógeno y polímeros artificiales modificados. Se las utiliza para obtener productos con una forma deseada, este proceso se lo realiza por medio de extrusión.

Estos se caracterizan por tener una excelente relación resistencia-densidad, excelentes propiedades de aislante térmico y eléctrico, alta resistencia a los ácidos y disolventes. Los resultados finales de estos son sólidos, pero en el estado de proceso son fluidos por la acción de calor y presión (Vásquez et al, 2016).

**-Neumáticos**

Los neumáticos, elastómeros o cauchos son materiales polímeros. Tienen una estructura elástica porque en su composición química no se encuentra presente elementos metálicos, por ende, su nombre proviene del término “polímero elástico” (Gomez et al, 2019).

Los neumáticos resultan de una combinación de varios cauchos que se utilizan para la elaboración de estos, esto se realiza por el proceso de vulcanización (Meza, 2014).. Además de caucho, un neumático está compuesto por: rellenos reforzantes, fibras reforzantes, plastificantes, agentes vulcanizantes, acelerantes, retardantes entre otros (Castro, 2008).

**Método**

- Despliegue de la función de calidad

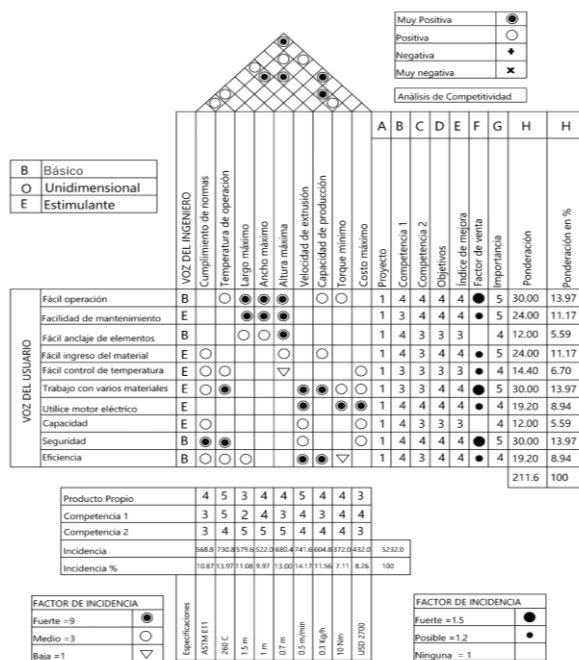


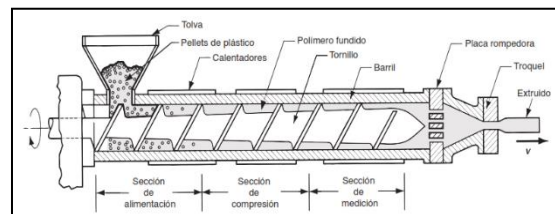
Figura 1. Análisis QFD, máquina extrusora

Mediante un motor eléctrico se transmite la potencia del mismo a través de un sistema de poleas y engranajes al eje, utilizando un solo husillo el cual va montado dentro de la camisa en posición horizontal, una tolva circular colocada verticalmente para el ingreso del material, el sistema de

calentamiento mediante resistencias en forma de abrazaderas colocadas en 3 zonas que permitan una fácil variación de temperatura, la boquilla de extrusión de acuerdo al diámetro que se desee obtener.

- Proceso

Según (Díaz, 2012) material previamente molido o triturado es puesto en una tolva, una vez que todas las variables estén en su punto de funcionamiento, se realiza un precalentamiento de la máquina y el PLC hará arrancar automáticamente al motor que, por medio de una caja reductora combinada de polea y sistema de transmisión, le proporcionara la velocidad y el par necesarios hacia el husillo, el cual gira dentro de un cilindro dotado de calor mediante resistencias eléctricas. La salida del plástico se realiza a través de la boquilla que le da al plástico y al caucho una determinada forma. Al salir de la boquilla, este perfil se puede enfriar o aplicarlo sin enfriar a otros procesos de moldeo.



**Figura 2.** Esquema de una máquina extrusora.

- Diseño de la maquina extrusora

Al realizar los cálculos de los componentes mecánicos de la máquina y el análisis de los elementos eléctricos, se obtuvo los detalles de la máquina.

**Tabla 1.** Componentes y características de la máquina extrusora diseñada.

Descripción	Unidades
Producción requerida	18.52 kg/h
Relación L/D	20:1
Diámetro del husillo	60 mm
Longitud del husillo	1200 mm
Velocidad de giro	87.5 rpm



Consumo de energía de los elementos de calefacción 20 Kw

Potencia del motor 20 HP

Reducción del sistema de transmisión 20:1

Potencia requerida de las resistencias 572.04 W

Temperatura de extrusión plástico 260 °C

Temperatura de extrusión caucho 160 °C, zona de alimentación y compresión

200 °C, zona de dosificación

## Resultados

### - Husillo

Es la parte más importante de la maquina ya que es el encargado de transportar la materia prima desde la tolva hasta el cabezal de extrusión, siendo expuesto a diferentes ambientes de trabajo. A continuación, se detalla las dimensiones de la geometría del husillo calculadas mediante las ecuaciones planteadas por (Savgorodny, 1978)

**Tabla 2.** Geometría del husillo.

Diámetro	Paso	Angulo de la cresta	Holgura
60 mm	60 mm	17.66 °	0.18 mm

### - Producción

Producción de extrusión de neumáticos



$\rho = 0.93 \frac{g}{cm^3}$ , densidad del caucho

$$Q = \left( \frac{33.27 * 0.001398}{0.001398 + 4.38 \times 10^{-3} + 1.74 \times 10^{-6}} \right) * 87.5 * 0.93 * \frac{60}{1000}$$

$$Q = 39.29 \frac{Kg}{h}$$

**Tabla 3.** Propiedades del Caucho

Caucho del neumático		
Densidad	930	$kg/m^3$

Producción de extrusión de plástico

$\rho = 1.39 \frac{g}{cm^3}$ , densidad del PET

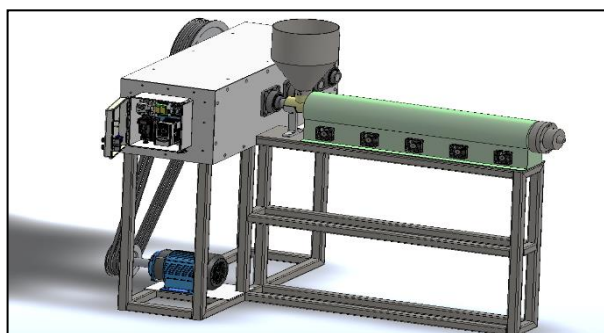
$$Q = \left( \frac{33.27 * 0.001398}{0.001398 + 4.38 \times 10^{-3} + 1.74 \times 10^{-6}} \right) * 87.5 * 1.39 * \frac{60}{1000}$$

$$Q = 58.72 \frac{Kg}{h}$$

**Tabla 4.** Propiedades del PET

PET		
Densidad	1390	$kg/m^3$

Como resultados se tiene el diseño de la máquina extrusora, como también los resultados de deformación, esfuerzos y análisis de las temperaturas de la resistencia y temperatura de trabajo de los materiales a extruir.



**Figura 3.** Diseño de la máquina extrusora

- Análisis del husillo

**Tabla 5.** Deformación del husillo.

<b>Descripción</b>	<b>Deformación</b>
<b>Cálculos</b>	$2.22 \times 10^{-3} m$
<b>SolidWorks</b>	$2 \times 10^{-3} m$
<b>ANSYS</b>	$1.98 \times 10^{-3} m$

**Tabla 6.** Esfuerzo del husillo.

<b>Descripción</b>	<b>Esfuerzo</b>
<b>Cálculos</b>	$236.07 MPa$
<b>SolidWorks</b>	$248.835 MPa$
<b>ANSYS</b>	$247.06 MPa$

- Estructura

**Tabla 7.** Comparación de resultados del husillo.

<b>Descripción</b>	<b>Deformación</b>
<b>Cálculos</b>	$3.53 \times 10^{-3} m$
<b>SolidWorks</b>	$3.6 \times 10^{-4} m.$
<b>ANSYS</b>	$3.69 \times 10^{-4} m.$

- Análisis de vibraciones de la estructura.

Se obtuvo un desplazamiento máximo de 0.653 mm por vibraciones, que se encuentra en los laterales de la estructura que soporta el sistema de transmisión, este desplazamiento es mínimo por ende no llega a afectar el funcionamiento del husillo, ni al soporte del cilindro extrusor.

- Comportamiento del plástico.

**Tabla 8.** Comparación de resultados de la temperatura de las resistencias

<b>Descripción</b>	<b>Temperatura de las resistencias</b>
<b>Cálculos</b>	$268.29 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>SolidWorks</b>	$279.99 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>ANSYS</b>	$278.56 \text{ }^\circ\text{C}$

- Comportamiento del caucho

**Tabla 9.** Comparación de resultados de la temperatura de las resistencias

<b>Descripción</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Temperatura</b>
	<b>Z1 yZ2</b>	<b>Z3</b>
<b>Cálculos</b>	168.3 °C	208.3 °C
<b>SolidWorks</b>	173.58 °C	215 °C
<b>ANSYS</b>	173.58 °C	213.71 °C

## Discusión

A través de la revisión bibliográfica se conoció las características de la máquina extrusora y se utilizó estos datos como partida para el diseño conceptual.

Se elaboró la matriz QFD para identificar las necesidades del cliente y poder solventarlas mediante una escala de satisfacción, analizando entre los aspectos positivos y negativos que se presentan. Logrando así la calidad del diseño del producto final.

Se diseñó el husillo con los parámetros adecuados para el proceso de extrusión; permitiendo que la máquina extrusora trabaje con plásticos y neumáticos. Los componentes diseñados se validaron mediante de los softwares SolidWorks y ANSYS obteniendo como resultados una variación muy pequeña entre los cálculos y los datos arrojados por simulación

Mediante las simulaciones a las que fueron sometidos los elementos de diseño, se garantizan el correcto funcionamiento de la máquina, obteniendo resultados óptimos para el diseño del mismo. El proceso de funcionamiento de la máquina extrusora cumple con diversos parámetros en torno a su función tales como, análisis térmico de conducción, convección y radiación para analizar el comportamiento de la temperatura de las resistencias; cilindro; husillo; y materia prima a extruir.

## Referencias

1. ASTM-SUBCOMMITTEE-329.01. (2015). STM E11-15: Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves. 1-9.
2. Castro, G. (2008). Materiales y composites para la industria del neumático.
3. Díaz, F. (2012). Conformado de materiales plásticos. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

4. Gomez, S.; Becerra, A.; Jareño, E.; Vásquez, J.;. (2019). Modelo fenomenológico de la viscosidad aparente en función de grado de curado de un elastómero EPDM. ResearchGate.
5. Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw Hill.
6. Meza, I. (2014). Diseño de una planta para la obtención de carbón activado. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
7. Savgorodny, V. (1978). Transformación de plásticos. Barcelona: Gustavo Gili S.A.
8. Vásquez , A., Velasco, M., Beltrán, M., & Espinoza, R. (2016). El reciclaje de los plásticos. ResearchGate, pp 1-12.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).