




## Análisis comparativo del consumo de electricidad y gas licuado de petróleo en máquinas extrusoras

## Comparative analysis of electricity and liquefied petroleum gas consumption in extruders

Israel Patricio Pachacama Campaña<sup>1</sup> , José Williams Morales Cevallos<sup>2</sup> , Paco Jovanni Vasquez Carrera<sup>2</sup> , Alex Darwin Paredes Anchatipán<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>IPELECTRIC Cia. Ltda, Latacunga – Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, La Maná – Ecuador

Correo correspondencia: [ipelectric22@gmail.com](mailto:ipelectric22@gmail.com), [jose.morales4@utc.edu.ec](mailto:jose.morales4@utc.edu.ec), [paco.vasquez@utc.edu.ec](mailto:paco.vasquez@utc.edu.ec), [alex.paredes49354@utc.edu.ec](mailto:alex.paredes49354@utc.edu.ec)

### Información del artículo

**Tipo de artículo:**  
Artículo original

**Recibido:**  
12/08/2022

**Aceptado:**  
15/10/2022

**Publicado:**  
18/11/2022

**Revista:**  
DATEH



### Resumen

El presente proyecto se enmarca en la sublínea de investigación “Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía” de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en el cual se pretende hacer un análisis comparativo de eficiencia energética para diferentes métodos de calefacción en máquinas extrusoras para el proceso de fundición de plástico, para lograr dicho objetivo se realizó el estudio en dos equipos de la fábrica INGYTEP, el primero utiliza un método íntegramente eléctrico, mientras que el segundo está compuesta de un calefactor de gas licuado de petróleo GLP, de los cuales se obtuvieron datos de consumo energético, eficiencia, costos de producción y tiempos de calentamiento para su respectivo análisis comparativo. De los resultados obtenidos se concluye que el método de calefacción eléctrico mantiene una ventaja en transferencia de calor, menores pérdidas de calor y un mejor rendimiento respecto a la técnica de gas licuado de petróleo, lo cual se traduce en un menor costo mensual de producción, a su vez, la máquina de GLP logró ventaja en alcanzar y mantener la temperatura adecuada de extrusión en un tiempo menor respecto a la calefacción por electricidad del segundo equipo, así como un menor desperdicio y mayor cantidad de producción. Finalmente, se propone futuras investigaciones para mejorar las carencias encontradas en cada uno de los métodos.

**Palabras clave:** *transferencia de calor, resistencias eléctricas, quemadores industriales, polietileno, extrusión.*

### Abstract

This project is part of the research subline "Energy efficiency in electromechanical systems and use of renewable energy sources" of the Technical University of Cotopaxi, in which it is intended to make a comparative analysis of energy efficiency for different heating methods in extruders machines for the plastic casting process, to achieve this objective, the study was carried out in two equipment property of INGYTEP factory, the first uses a fully electric method, while the second is composed of a liquefied petroleum gas LPG heater, of which data on energy consumption, efficiency, production costs and heating times were obtained for their respective comparative analysis. From the results obtained, it is concluded the electric heating method maintains an advantage in heat transfer, lower heat losses and better performance compared to the liquefied petroleum gas technique, which translates into a lower monthly production cost. In turn, the LPG machine achieved an advantage in reaching and maintaining the adequate extrusion temperature in a shorter time compared to the electric heating of the second equipment, as well as less waste and a greater amount of production. Finally, future research is proposed to improve the deficiencies found in each of the methods.

**Keywords:** *heat transfer, electric resistor, industrial burners, polyethylene, extrusion.*

**Forma sugerida de citar (APA):** López-Rodríguez, C. E., Sotelo-Muñoz, J. K., Muñoz-Venegas, I. J. y López-Aguas, N. F. (2024). Análisis de la multidimensionalidad del brand equity para el sector bancario: un estudio en la generación Z. Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía, 14(27), 9-20. <https://doi.org/10.17163/ret.n27.2024.01>.

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de control interno es fundamental para las El proyecto corresponde a las investigaciones planteadas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, dentro de la sublínea denominada “Eficiencia Energética en Sistemas Electromecánicos y Uso de Fuentes Renovables de Energía”; dentro de la investigación planteada se destaca el desarrollo del proceso de fundición del plástico en máquinas extrusoras mediante la utilización de fuentes de energías caloríficas como la electricidad y el gas licuado de petróleo, de tal manera que al realizar un análisis comparativo se seleccione la fuente de energía que permita tener un mejor rendimiento en la producción de manguera de polietileno, la cual puede ser utilizada en el sector de la construcción y/o en el sector agropecuario para regadío.

En la industria del plástico para procesos de fabricación de manguera de polietileno se requiere obtener mayores rendimientos en máquinas extrusoras, pero al encontrarse con limitantes, pueden empeorar el desempeño en la fabricación de productos plásticos generando principalmente altos costos en producción. (Cruz, 2014)

La fábrica INGYTEP dispone de una máquina extrusora para desarrollar la investigación, anteriormente esta maquinaria trabajó con resistencias eléctricas calefactoras de tipo abrazadera para cumplir con el proceso de fundición del plástico con el objetivo de producir manguera de polietileno; hoy en día esta máquina específicamente en la zona de fundición del plástico, se ha reemplazado las resistencias eléctricas calefactoras por el uso del gas licuado de petróleo, cumpliendo de igual manera con el proceso de fundición para posteriormente obtener manguera de polietileno, por lo que se requiere la selección de carácter técnico – científico de una fuente calorífica que optimice este proceso.

Dentro de la elaboración de manguera negra de polietileno de baja densidad, uno de los procesos principales para la elaboración de este producto es la parte de fundición del plástico específicamente en la zona de calefacción de la máquina extrusora con temperaturas de aproximadamente 200 °C, para alcanzar esta temperatura se utilizan diferentes procesos como, por ejemplo: el uso de la energía eléctrica por medio de resistencias calefactoras y el uso del gas licuado de petróleo. Al realizar un análisis de comparación entre el uso de la energía eléctrica con el uso del gas licuado de petróleo en máquinas extrusoras, principalmente se enfoca en la caracterización técnica de las dos fuentes de energía calorífica para la evaluación de ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales (Cruz, 2014).

El proyecto de investigación tiene relevancia dentro de la eficiencia energética, desarrollando actividades que se enfocan a la parte técnica, financiera y medio ambiental, con una capacidad de generar resultados inmediatos que son reflejados económicamente, por lo tanto, se declina por

un impacto a corto plazo. El proyecto de investigación promueve el desarrollo de tecnologías que impulsan a la producción nacional, así como sujetarse a principios y normativas de calidad, sostenibilidad y producción sistémica, como se manifiesta en los artículos 320 y 385 de la Constitución Nacional de la República del Ecuador. La propuesta investigativa se alinea con el objetivo #5 del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 “Todo una Vida”, en el que se manifiesta impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria (Senplades, 2017).

Como objetivo general se plantea, analizar el consumo de energía eléctrica y gas licuado de petróleo en la zona de calefacción en máquinas extrusoras mediante un estudio comparativo para la selección del proceso óptimo en la fundición del plástico en la fábrica INGYTEP ubicada en la ciudad de Latacunga. Para llegar a cumplir este objetivo se determinan los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una investigación bibliográfica en fuentes de relevancia para determinar el comportamiento del proceso de fundición del plástico en una máquina extrusora; así como sus principales variables y categorías.
- Diagnosticar el proceso actual de las dos máquinas extrusoras de la fábrica INGYTEP identificando los diferentes parámetros de operación.
- Caracterizar el proceso de fundición del plástico por medio de energía eléctrica y gas licuado de petróleo máquinas extrusoras.
- Establecer la fuente de energía óptima para el proceso de fundición del plástico en las máquinas extrusoras.
- Validar la selección del proceso óptimo en la fundición del plástico en las máquinas extrusoras de la fábrica INGYTEP.

En la Universidad Piloto de Colombia, en Bogotá - Colombia, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Conversión equipo extrusor en la zona de calefacción de energía eléctrica a gas natural” (Amaya, 2014).

El proyecto menciona la aportación de una solución viable para la reducción de gastos en el consumo de energía eléctrica en la empresa CIPLAS S.A., por lo que se decidió en cambiar la alimentación de los equipos que usan electricidad, por una fuente de energía a gas natural industrial, que permite reducir los costos en producción, involucrando la responsabilidad social con el cuidado del medio ambiente.

Se programó el cambio de las resistencias eléctricas que generan calor sobre el barril de una máquina extrusora de plástico con la finalidad de moldear la materia prima, fundiéndola a través de ductos que expulsan el gas natural industrial, el mismo que por chispa controlada genera ignición para el calentamiento del barril en menor tiempo comparado con la energía eléctrica y acelerando el proceso

de producción, con lo que se obtuvo mediante un bajo recurso de inversión, la disminución hasta un 60% en el consumo de energía eléctrica de la extrusora.

En la Universidad César Vallejo, en Trujillo - Perú, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Diseño de un sistema de calentamiento usando gas natural en una máquina extrusora que procesa 550 kg/h de tubería plástica ubicada en la línea 5 de la planta N° 1 de la empresa Eurotubo S.A.C para reducir costos de producción” (Céspedes, 2017). El proyecto manifiesta que, la empresa Eurotubo S.A.C se dedica a la fabricación de tubería plástica utilizando máquinas extrusoras, para lo cual, en el proceso de fundición del plástico, se lo realiza utilizando energía eléctrica a través de resistencias calefactoras y la empresa no cuenta con un sistema alternativo de calentamiento para sustituir a la energía eléctrica debido a los ocurrences cortes del suministro eléctrico.

Por tal razón, surge la necesidad de diseñar un sistema de calentamiento que no utilice energía eléctrica, en el que se optó usar el gas natural como fuente de energía calorífica, para el diseño se necesitó conocer los parámetros de operación del sistema de calentamiento con resistencias eléctricas que entregaba una potencia de 51,48 kW alcanzando una temperatura de 180 °C.

Como resultado se determinó que el gas natural necesita producir un calor requerido de 68,7 kg/h con una relación aire combustible de 19,7 kg de aire por cada kg de gas natural para obtener la temperatura requerida.

En Colombia se presentó un artículo científico denominado “Una revisión de sistemas de calentamiento y control de temperatura para extrusión de polímeros” (Cruz, 2014). En el artículo científico, se presenta una revisión sobre las iniciativas relacionadas con; el calentamiento a gas del barril de extrusión, otros sistemas de calentamiento, modelación y simulación de los perfiles de temperatura, procesamiento de polímeros por el proceso de extrusión, y control de temperatura.

Como resultado se obtuvo que al generar calor mediante una conversión a gas se puede determinar una reducción de un 60 % del consumo de la energía eléctrica, por lo tanto, se concluyó que, el calentamiento a gas es más eficiente que el calentamiento por resistencias eléctricas en el procesamiento de polímeros.

En la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Quito, en Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Automatización de un sistema extrusor de PVC para fabricación de vinil sellador (empaquetadura) entre el metal y su acristalamiento” (Zumba, 2017).

El presente proyecto se enfocó en la automatización de la máquina extrusora de PVC para la fabricación de vinil sellador utilizado en el área de la construcción de

ventanearía y estructura, así como también en el diseño del calentador para la fundición de la materia prima.

Se realizó la caracterización de la toda la máquina extrusora; para el diseño del calentador se ha considerado que para realizar el vinil 26 – 12 se necesitan 4 resistencias calefactoras de tipo abrazadera con un diámetro de 75 mm, una longitud de 100 mm, potencia de 900 W, tensión de 220 Vac con una conexión en serie y una protección (breaker) de 16 A.

El control de la temperatura se realizó por medio de un controlador lógico programable mediante histéresis con un rango de temperatura de 125 °C a 145 °C siendo 130 °C la temperatura ideal para la fundición del PVC.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En la figura 1 se presenta la máquina extrusora de plástico que funciona en su totalidad con energía eléctrica, este método para la fundición del plástico se lo denominada “método de fundición N. 1”, sus características se muestran en la tabla 1.



**Figura 1.** Máquina extrusora N.1

<b>Cantidad y tipo de resistencia</b>	10 resistencias de tipo abrazadera
<b>Número de zonas distribuidas</b>	4
<b>Potencia en cada resistencia</b>	600 W
<b>Tensión de alimentación</b>	220 Vac
<b>Tipo de control</b>	On/Off
<b>Sensor de temperatura a utilizarse</b>	PT100
<b>Controlador lógico</b>	Logo 8 y módulo AM2 RTD

**Tabla 1.** Características de la máquina extrusora N. 1

El segundo método de fundición del plástico en máquinas extrusoras es por medio del uso del gas licuado de petróleo, en la figura 2 se observa la máquina extrusora N. 2 que utiliza un sistema de control y una fuente de energía

calorífica diferente para la fundición del plástico. Sus características se muestran en la tabla 2.



**Figura 2.** Máquina extrusora N.2

<b>Cantidad y tipo de quemador</b>	4 quemadores de tipo industrial
<b>Número de zonas distribuidas</b>	4
<b>Potencia en cada quemador</b>	1500 W
<b>Capacidad del sistema</b>	Centralina con capacidad para 3 tanques industriales
<b>Tipo de control</b>	On/Off (Electroválvula)
<b>Sensor de temperatura a utilizarse</b>	Termocupla tipo J
<b>Controlador lógico</b>	Logo 8, módulo AM2 y amplificador de señal

**Tabla 2.** Características de la máquina extrusora N. 2

En la zona de fundición del plástico de la máquina extrusora se tiene que considerar una cantidad de calor mínima para cumplir con el proceso de extrusión, para lo cual se emplea la ecuación 1, tomando en cuenta que la máquina extrusora tiene una capacidad de 50 kg/h y el calor específico del polietileno es de 1,9 kJ/kg.K.

$$Q_{util} = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)}{t} \cdot F_s \quad (1)$$

Donde:

m: masa de la carga [kg]  
Cp: Calor específico [J/kg °K]  
Tf: Temperatura final (°K)  
To: Temperatura inicial (°K)  
t: Tiempo [s]

$$Q_{mínimo} = \frac{50 \text{ kg} \cdot 1,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \cdot (473 \text{ °K} - 293 \text{ °K})}{3600 \text{ s}} \cdot 1,15$$

$$Q_{mínimo} = 5,46 \text{ kW}$$

Para obtener el valor del consumo de la energía eléctrica en la zona de calefacción para la fundición del polietileno, se utiliza la ecuación 2 que tiene los siguientes parámetros; intensidad de corriente, voltaje y tiempo de funcionamiento (Khripko, 2016).

$$P_R = V \cdot I \cdot t \quad (2)$$

Para desarrollar el cálculo de la transferencia de calor en las resistencias eléctricas se debe conocer que se lo realiza por medio de la conducción, por lo tanto, se utiliza la ecuación 3, con los siguientes parámetros; temperatura máxima, temperatura mínima, espesor de la pared, conductividad térmica y radio del cilindro (Jimenez, 2015).

$$Q_x = 2\pi \cdot L \cdot k \cdot \frac{\Delta T}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3)$$

El rendimiento para los dos métodos de fundición se determina por medio de la ecuación 4 (General\_Electric, 2019), con los siguientes parámetros; potencia absorbida y potencia suministrada.

$$\eta = \frac{P_{abs}}{P_T} \cdot 100\% \quad (4)$$

Para determinar el tiempo que se demora la zona de calefacción en mantener la temperatura de 200 °C utilizando los dos métodos de fundición es necesario determinar muestras mediante un cronómetro y los datos obtenidos promediarlos.

$$P_{tiempo} = \frac{\sum_{i=1}^n Tiempo_i}{n} \quad (5)$$

El valor económico de la energía eléctrica se determina con la ecuación 6, conociendo que el costo por kWh en Ecuador según el ARCONEL para Cotopaxi es de \$ 0,065.

$$C_{Electricidad} = P_R \cdot C_U \cdot \text{Días} \quad (6)$$

Para determinar la cantidad de calor que se pierde utilizando GLP a través de la convección, se calcula el número de Reynolds (ecuación 7), el número de Nusselt (ecuación 8), el coeficiente de transferencia de calor por convección (ecuación 9) y finalmente sus pérdidas (ecuación 10).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (7)$$

$$Nu = 0,023 \cdot (Re)^{0,8} \cdot (Pr)^{0,4} \quad (8)$$

$$h_{conv} = \frac{k \cdot Nu}{D} \quad (9)$$



$$Q_{conv} = \frac{T_s - T_{\infty}}{1/h \cdot A_s} \quad (10)$$

El costo del consumo de GLP que se utiliza para el sistema de fundición del plástico se determina por la ecuación 11, considerando que cada quemador industrial tiene un consumo de 0,35 kg/h y el tanque de gas licuado de petróleo es de 15 kg (\$12,25).

$$C_{GAS} = \frac{\text{Consumo}_{kg/h} \cdot \text{Costo}_{tanque} \cdot \text{tiempo} \cdot \text{Días}}{15 \text{ kg}} \quad (11)$$

Conociendo que la máquina extrusora tiene una capacidad de 50 kg/h y el rollo de manguera de polietileno para construcción de 1 pulgada tiene 20 kg, se determina por la ecuación 12 la producción en kg/mes.

$$Pro_{med} = \frac{(Cap_{maq} \cdot t_{trab.} \cdot 22 \text{ d.}) - (desp. \cdot 22 \text{ d.})}{kg_{mang \ 1 \ in}} \quad (12)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método de fundición N. 1 realiza una transferencia de 5495,97 W al cilindro extrusor con 504 W de pérdidas, mientras que el método de fundición N. 2 transfiere 5311,03 W en forma de calor y 688,97 W son pérdidas, como se expone en los gráficos 1 y 2.

### TRANSFERENCIA DE CALOR

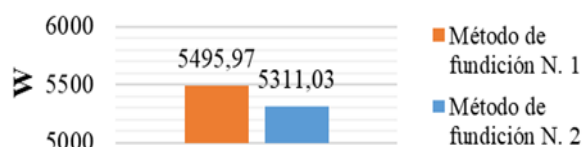


Gráfico 1. Análisis de la transferencia de calor

### PÉRDIDAS DE CALOR

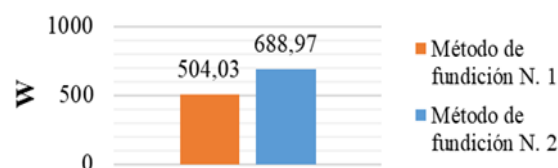


Gráfico 2. Análisis de las pérdidas de calor

El rendimiento del método de fundición N. 1 es del 91,59 %, mientras que el rendimiento del método de fundición N. 2 es del 88,51 %, esto menciona que utilizando el método N. 1 obtengo un mejor rendimiento, los datos analizados se pueden visualizar en el gráfico 3.

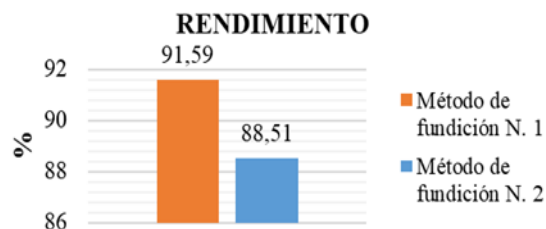


Figura 3. Análisis del rendimiento

El tiempo que se demora en alcanzar y mantener una temperatura constante utilizando el método de fundición N. 1 es de 30 minutos con 34 segundos, mientras que utilizando el método de fundición N. 2 se demora un tiempo de 20 minutos y 35 segundos, lo que indica que existe una diferencia de 10 minutos aproximadamente, lo cual puede ser considerado como una pérdida de producción, los datos analizados se pueden visualizar en la gráfica 4.

### TIEMPOS DE CALENTAMIENTO

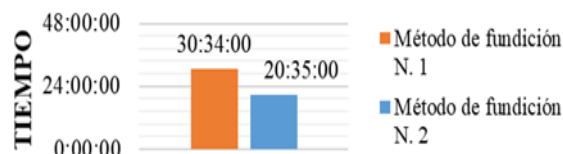


Gráfico 4. Análisis de los tiempos de calentamiento

Utilizando el método de fundición N. 1 el costo del consumo energético mensual es \$ 68,64, considerando un trabajo de lunes a viernes de 8 horas laborables, mientras que utilizando el método de fundición N. 2 tiene un valor mensual de \$ 153,8. En la gráfica 5 se expone los valores económicos, existe una gran diferencia de \$ 85,16 mensuales, lo que sugiere que el método N. 1 es favorable en cuestiones de costos.

### COSTO DEL CONSUMO ENERGÉTICO



Gráfico 5. Análisis del costo del consumo energético

Utilizando el método de fundición N. 1 la máquina extrusora produce 8030 kg/mes de material plástico terminado con 220 kg/mes de desperdicio, mientras que el método N. 2 produce 8327 kg/mes con 110 kg/mes de desperdicio, obteniendo una diferencia de 297 kg mensuales.

Cantidad de producción de manguera de 1 pulgada	
	8030 kg mensual
Método de fundición N. 1	401 rollos de manguera mensual
	220 kg/mensual de desperdicio
	8327 kg mensual
Método de fundición N. 2	416 rollos de manguera mensual
	110 kg/mensual de desperdicio

**Tabla 3.** Cantidad de producción de manguera

## CONCLUSIONES

El método de fundición N. 1 exhibe la ventaja en transferencia de calor con 184,94 W de diferencia, presenta menores pérdidas de calor, un mejor rendimiento del 91,59 % y menor costo mensual de \$85,16 de diferencia, mientras que el método de fundición N. 2 presenta ventajas en alcanzar y mantener una temperatura de 200 °C en menor tiempo (10 min. de diferencia), tiene menor cantidad de desperdicio de material con 110 kg/mes de diferencia y tiene una mayor cantidad de producción con 15 rollos de manguera/mes de diferencia, obteniendo mayor cantidad de rentabilidad.

Se propone una implementación de material refractario en el método de fundición N. 2 para reducir estas pérdidas de calor y una posible investigación utilizando el método de inducción como una posible fuente calorífica para determinar una comparación con el uso del gas licuado de petróleo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya, D. (12 de 05 de 2014). *Conversión equipo extrusión en la zona de calefacción de energía eléctrica a gas natural*. Obtenido de <http://repositorio.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4219>
- Céspedes, J. L. (12 de 12 de 2017). *Diseño de un sistema de calentamiento usando gas natural en una máquina extrusora que procesa 550 kg/h de tubería plástica ubicada en la línea 5 de la planta N° 1 de la empresa Eurotubo S.A.C para reducir costos de producción*. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23059>
- Cruz, g. (2014). Una Revisión de Sistemas de Calentamiento y Control de Temperatura para Extrusión de Polímeros. *Cintex*, 127.
- General\_Electric. (5 de 2 de 2019). *El futuro energético del sistema eléctrico en América Latina*. Obtenido de

<https://gereportslatinoamerica.com/el-futuro-energ%C3%A9tico-del-sistema-el%C3%A9ctrico-en-am%C3%A9rica-latina-a54105757c7>

- Jimenez, A. (2015). Mejoramiento de la eficiencia energética en los procesos de extrusión de tuberías plásticas. *Revista Científica Ingeniería Energética*.
- Khripko, D. (2016). Energy demand and efficiency measures in polymer processing: comparison between temperate and Mediterranean operating plants. *Springer*, 225–233.
- Senplades. (2017). *Código de Ética del Gobierno Nacional*. Obtenido de [1] S. T. P. Ecuador, «Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 Toda una Vida,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.planificacion.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida/>.
- Zumba, F. I. (10 de 3 de 2017). *Automatización de un sistema extrusor de PVC para fabricación de vinil sellador (empaquetadura) entre el metal y su acristalamiento*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14062>