

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

Comparative analysis of the consumption of electricity and liquefied petroleum gas in extrusion machines

Israel Patricio Pachacama-Campaña¹

Recibido 12 de mayo de 2022; revisión aceptada 28 de octubre de 2022

RESUMEN:

El proyecto consistió en comparar el consumo de electricidad y gas licuado de petróleo en la zona de calefacción en una máquina extrusora para la evaluación de ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales en la fundición del plástico, conociendo que la capacidad de la máquina es de 50 kg/h y el calor específico del polietileno es de 1,9 kJ/kg.K se requiere 5,5 kW de calor para fundir este material, por lo tanto, utilizando el método N. 1 con resistencias eléctricas genera 6 kW, transfiriendo 5495,97 W, con 504,03 W de pérdidas, tiene un rendimiento del 91,59 %, tarda en mantener 200 °C un tiempo de 30'34", el costo mensual de la electricidad que utiliza es de \$ 68,64, produce una cantidad de 8030 kg/mes es decir 401 rollos de manguera y tiene un desperdicio de 220 kg/mes, el método N. 2 transfiere 5311,03 W con 688,97 W de pérdidas, tiene un rendimiento del 88,51 %, se demora 20'35" en mantener una temperatura de 200 °C , el costo mensual del gas natural es de \$ 153,98 produce una cantidad de 8327 kg/mes es decir 416 rollos de manguera y tiene un desperdicio de 110 kg/mes, por lo tanto, se considera que el método de fundición N. 2, mantiene los 200 °C en menor tiempo, y a pesar de su costo mayoritario en generación de calor es más rentable es la producción de 15 rollos más de manguera de 1 pulgada mensual y su desperdicio de material es doblemente menor.

Palabras clave: Transferencia de calor, resistencias eléctricas, quemadores industriales y polietileno.

ABSTRACT:

The project consisted of comparing the consumption of electricity and liquefied petroleum gas in the heating zone of an extruder machine for the evaluation of technical, economic and environmental advantages and disadvantages in the melting of plastic, knowing that the

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, israel.pachacama5@utc.edu.ec

capacity of the machine is 50 kg/h and the specific heat of polyethylene is 1.9 kJ/kg. K is required 5.5 kW of heat to melt this material, therefore, using method N. 1 with electrical resistances generates 6 kW, transferring 5495.97 W, with 504.03 W of losses, has a yield of 91.59 %, takes to maintain 200 °C a time of 30'34", the monthly cost of electricity used is \$ 68.64, produces an amount of 8030 kg/month that is 401 rolls of hose and has a waste of 220 kg/month, method N. 2 transfers 5311.03 W with 688.97 W of losses, has an efficiency of 88.51 %, takes 20'35" to maintain a temperature of 200 °C, the monthly cost of natural gas is \$ 153.98 produces a quantity of 8327 kg/month that is 416 rolls of hose and has a waste of 110 kg/month, therefore, it is considered that the melting method N. 2, maintains the 200 °C in less time, and despite its higher cost in heat generation is more profitable is the production of 15 more rolls of 1 inch hose monthly and its waste of material is twice less.

Keywords: *Heat transfer, electrical resistors, industrial burners and polyethylene.*

1. INTRODUCCIÓN

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. [6]

Con la presencia de la máquina extrusora de la fábrica INGYTEP se realiza 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.

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 un 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. [1]

2. MATERIALES 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

Tabla 1. Características de la máquina extrusora N. 1

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

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

Tabla 2. Características de la máquina extrusora N. 2

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

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 siguiente ecuación, 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]
- C_p : Calor específico [J/kg °K]
- T_f : Temperatura final (°K)
- T_o : Temperatura inicial (°K)
- t: Tiempo [s]

$$Q_{mínimo} = \frac{50 \text{ kg} \cdot 1,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \cdot (473 \text{ °K} - 293 \text{ °K})}{3600 \text{ s}} \cdot 1,15 = 5,46 \text{ kW}$$

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.

$$P_R = V \cdot I \cdot t \quad [2]$$

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.

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

El rendimiento para los dos métodos de fundición se determina por medio de la ecuación 4, con los siguiente 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 utilizando 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.

$$C_{Electricidad} = P_R \cdot C_U \cdot Días \quad [6]$$

Para determinar la cantidad de calor que se pierde utilizando GLP a través de la convección, se debe primero calcular 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.

$$Pro_{mensual} = \frac{(\text{Cap}_{maq} \cdot t_{trabajo} \cdot 22 \text{ días}) - (\text{desperdicio} \cdot 22 \text{ días})}{kg_{mang \ 1 \ in}} \quad [12]$$

3. 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.

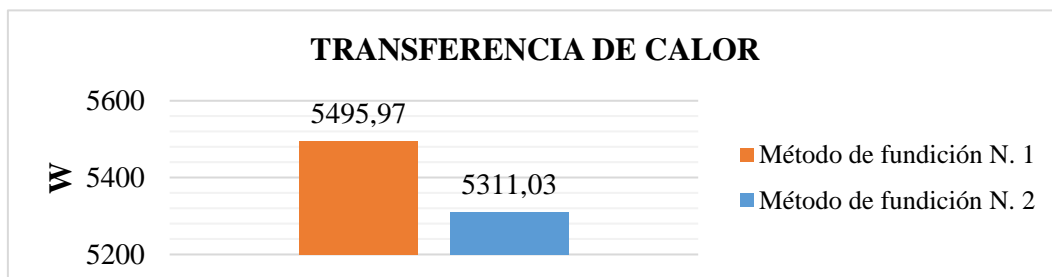


Figura 3. Análisis de la transferencia de calor

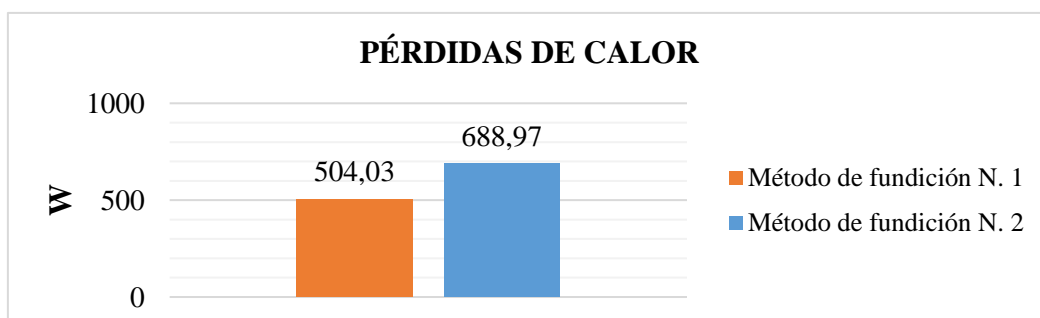


Figura 4. Análisis de la pérdida de calor

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 la figura 5.

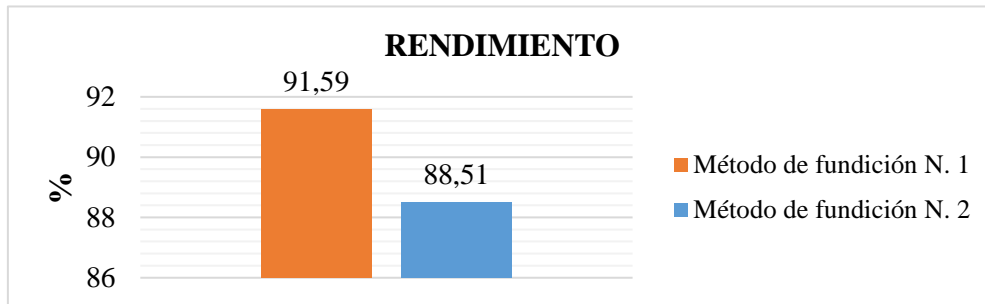


Figura 5. Análisis del rendimiento

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 menciona 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 figura 6.

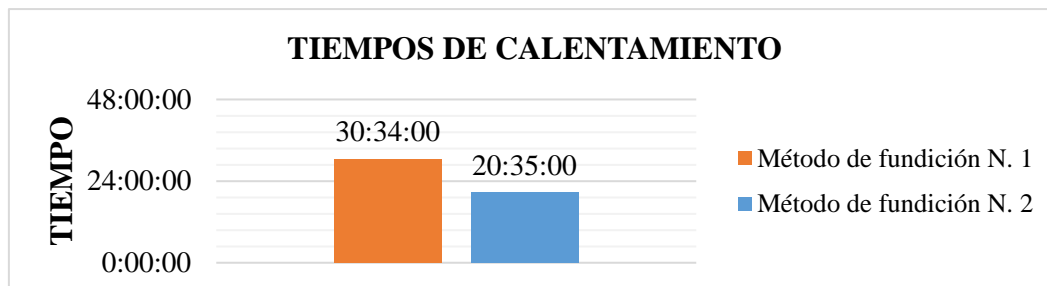


Figura 6. Análisis de los tiempos de calentamiento

Utilizando el método de fundición N. 1 el costo del consumo energético mensual es \$ 68,64, considerando un trabajo de lunes a viernes 8 horas laborables, mientras que utilizando el método de fundición N. 2 tiene un valor mensual de \$ 153,8. En la figura 7 se puede interpretar los valores económicos, existe una gran diferencia de \$ 85,16 mensuales, lo que menciona que el método N. 1 es favorable en cuestiones de costos.

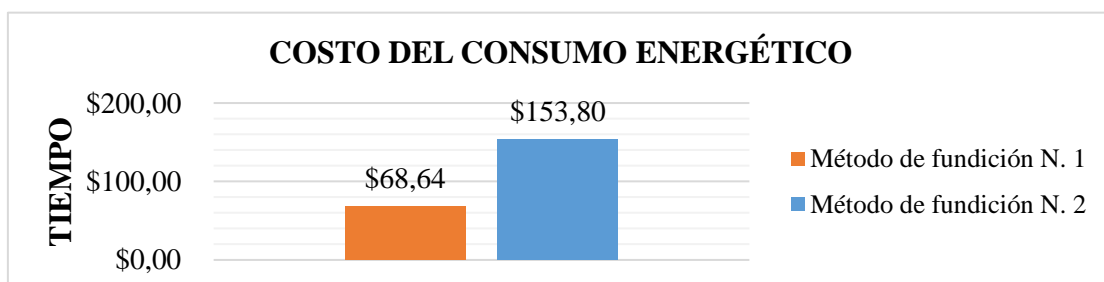


Figura 7. Análisis del costo del consumo energético

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.

Tabla 3. Cantidad de producción de manguera

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

4. CONCLUSIONES

El método de fundición N. 1 mantiene 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 mantiene 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 puede determinar una implementación de material refractario en el método de fundición N. 2 para reducir estas pérdidas de calor y considerar una posible investigación utilizando el método de la inducción como una posible fuente calorífica para determina una comparación con el uso del gas licuado de petróleo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [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/>.
- [2] J. M. Egea Krauel y E. Trigueros García, «Perspectivas para el gas natural en Europa Relevancia del sistema gasista español para la Unión de la Energía,» 2017. [En línea]. Available:

file:///D:/Users/DELL/Downloads/ce46_07_perspectivasparaelgasnaturalenauepa_jmegea_et rigueros.pdf.

[3] G. R. Latinoamérica, «El futuro energético del sistema eléctrico en América Latina,» 05 02 2019. [En línea]. Available: <https://gereportslatinoamerica.com/el-futuro-energ%C3%A9tico-del-sistema-el%C3%A9ctrico-en-am%C3%A9rica-latina-a54105757c7>.

[4] A. Jimenez Ramos y A. Borroto Nordelo, «Mejoramiento de la eficiencia energética en los procesos de extrusión de tuberías plásticas,» Agosto 2015. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200011.

[5] D. A. Amaya Peñaloza y J. R. Alarcón Revelo, «Conversión Equipo extrusión en la zona de calefacción de energía eléctrica a gas natural,» 2014. [En línea]. Available: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4219>.

[6] G. Cruz, «Una Revisión de Sistemas de Calentamiento y Control de Temperatura para Extrusión de Polímeros,» 24 09 2015. [En línea]. Available: <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/43>.

[7] D. Khripko, A. Schluter, B. Rommel y M. Rosano , «Energy demand and efficiency measures in polymer processing: comparison between temperate and Mediterranean operating plants,» 29 01 2016. [En línea]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40095-015-0200-2>.

[8] K. Karabekir Mah y M. Fakultesi, «Comparison of natural gas fired and induction heating furnaces,» 03 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/271446125_Comparison_of_Natural_Gas_Fired_and_Induction_Heating_Furnaces.

[9] C. Abeykoon, K. Adrian L., J. Vera Sorronche, E. Brown y Coates, «Monitoring and Modelling of the Energy Consumption in Polymer Extrusion,» 06 27 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/263542720_Monitoring_and_Modelling_of_the_Energy_Consumption_in_Polymer_Extrusion.

[10] D. Trapero Moreno, «Diseño, control y construcción de un extrusor de filamento para impresión 3D,» 24 09 2016. [En línea]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/20112>.

[11] A. Borroto Nordelo, «Mejorar la eficiencia energética del proceso de extrusión de tubos,» 10 11 2017. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200011.

- [12] G. Ramos Espinosa y G. A. Lombana Gómez, «Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas,» 06 06 2019. [En línea]. Available: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/11024/5/T08590.pdf>.
- [13] J. L. Céspedes Carazas, «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,» 12 12 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23059>.
- [14] C. A. García Acevedo, «Diseño de una extrusora para filamento 3D,» 06 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/135054>.
- [15] B. Moscoso Verdezoto y L. Gualli Aucancela, «Diseño y construcción de un sistema de calentamiento a gas para la fabricación de planchas de polipropileno Techoluz,» 31 05 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/287>.
- [16] F. I. Zumba Aldaz, «Automatización de un sistema extrusor de PVC para fabricación de vinil sellador (Empaquetadura) entre el metal y su acristalamiento,» 03 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14062>.