



APLICACIONES INDUSTRIALES

Influencia de las propiedades de la materia prima en el desempeño del proceso de extrusión

Influence of the properties of the raw material in the performance of the extrusion process

Antonio Jiménez Ramos¹
Juan Francisco Puerta Fernández²

Julio Rafael Gómez Sarduy³
Yulier Jiménez Santana⁴

¹Director General Empresa de Producciones Plásticas VasilLevski.,Cuba

² Universidad Metropolitana de Ecuador.

³Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), Universidad de Cienfuegos.Cuba

⁴Universidad de Guanajuato, Méjico.

E-mail: antonio@petrocasa.cu

Recibido: septiembre de 2017

Aprobado: mayo de 2018

Licencia de uso y distribución CreativeCommons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional



RESUMEN / ABSTRACT

La conductividad térmica, el calor específico y la densidad, son propiedades de los plásticos, que influyen directamente, en el mejor o peor desempeño, durante el proceso de extrusión en la producción de tuberías plásticas. A pesar de la relación tan estrecha, que entre las propiedades mencionadas existe, en el presente artículo se reporta como cada una de ellas individualmente incide de un modo diferente en el rendimiento energético durante la etapa de enfriamiento y en el desempeño productivo, del proceso de extrusión en general. El tiempo mínimo de enfriamiento, el índice de consumo energético y el flujo máximo de la máquina extrusora, en función del espesor de tubería y las propiedades de la materia prima utilizada, son los principales resultados obtenidos. La simulación del proceso de enfriamiento. La solución exacta, de la ecuación de la conducción en régimen transitorio, fue el método empleado en la investigación.

Palabras clave: Propiedades físicas; plásticos; desempeño energético; desempeño productivo; extrusión de plástico.

Thermal conductivity, specific heat and density are properties of plastics, which directly influence the best or worst performance during the extrusion process in the production of plastic pipes. In spite of the close relationship between the properties mentioned exist, in the present article it is reported how each of them individually affects in a different way in the energy efficiency during the cooling stage and in the productive performance, of the process of extrusion in general. The minimum minimum cooling, the energy consumption index and the maximum flow of the extruder in the function of the pipe thickness and the properties of the raw material used, are the main results obtained. Simulation of the cooling process. The exact solution from the equation of conduction in the transient regime, it was the method used in the research.

Keywords: Physical propertie; plastic; energy performance; productive performance; plastic extrusion.

INTRODUCCIÓN

La extrusión es un proceso continuo, en el que la resina es fundida, por la acción de la temperatura y la fricción y forzada a pasar por un dado, que le proporciona una forma definida y es enfriada finalmente, para evitar deformaciones permanentes. Se fabrican por este proceso: tubos, perfiles, películas, manguera, láminas, filamentos, pellets y otros. En este proceso, juegan un papel importante las propiedades termofísicas de la materia prima utilizada, estas contribuyen a tener un mejor o peor desempeño energético y productivo, sobre todo, en la etapa de enfriamiento que se desarrolla, una vez salida la materia prima del dado, que le proporciona la forma a la salida del extrusor y pasa a la etapa de terminación del producto.

Esta es una etapa muy compleja, pues en ella entran a jugar muchas variables, para lograr el producto final, como son, nivel de producción, propiedades termofísicas del material, temperatura y régimen de circulación del agua helada de enfriamiento, dimensiones del producto y de la bañera. En la fabricación de tuberías, esto influye en que al pasar por la unidad de tiro no se deforme, en donde el tubo se somete a presiones que podría producir alteraciones en la forma circular, corte, abocinado en algunos casos, estiramientos para orientación molecular y palatización, Lograr el conocimiento de la influencia energética y productiva de las propiedades termofísicas de la materia prima como conductividad térmica, densidad y calor específico, conduce a predecir, con determinada exactitud, el comportamiento de los índices energéticos y productivos del proceso, que se desarrollará posteriormente [1-3].

Fueron escogidas estas propiedades, teniendo en cuenta que son las más influyentes, en el proceso de enfriamiento o calentamiento, en este tipo de materia prima, pues su comportamiento es intensivo, aunque se conoce que en general, el cociente entre dos magnitudes extensivas nos da una magnitud intensiva, por ejemplo la razón entre masa y volumen es la densidad y por tanto, aunque se varíen las temperaturas en la superficie de la tubería y la de la bañera o equipo de enfriamiento, el comportamiento será el mismo en cuanto al aumento o disminución de la magnitud resultante; en este caso aumenta o disminuye la producción e igual sucederá con los índices de consumo energético.

El procedimiento de cálculo utilizado en los resultados que en este artículo se exponen ya fue publicado con anterioridad. Con ello queda demostrada la versatilidad del método y la herramienta empleada para dar solución a problemas en la transferencia de calor, en la búsqueda de la eficiencia energética y productiva [2-3].

DESARROLLO

El enfriamiento

Esta etapa del proceso se desarrolla al salir la materia prima del dado del extrusor y penetrar en la bañera de enfriamiento que puede ser de diferentes dimensiones. Se pueden encontrar dos tipos de enfriamiento: por inmersión y por rociado. Por inmersión el tubo pasa por una tina llena de agua en constante enfriamiento, llevándose a cabo un intercambio de calor contante, empleado generalmente para tuberías de pequeño diámetro, donde por las altas velocidades de extrusión, se requiere de un enfriamiento intenso. En el enfriamiento por espray, el tubo pasa por la unidad de enfriamiento consistente, en una cámara donde numerosas boquillas instaladas, rocían agua fría sobre la tubería. Este enfriamiento es usado para tubería de gran diámetro donde las velocidades de producción son bajas y la aspersion puede lograr un enfriamiento efectivo, por el tiempo de permanencia elevado del producto en esta. Vea las figuras 1 y 2.

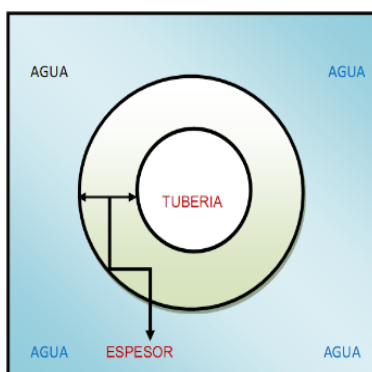


Fig.1. Corte de una bañera con su tubería.

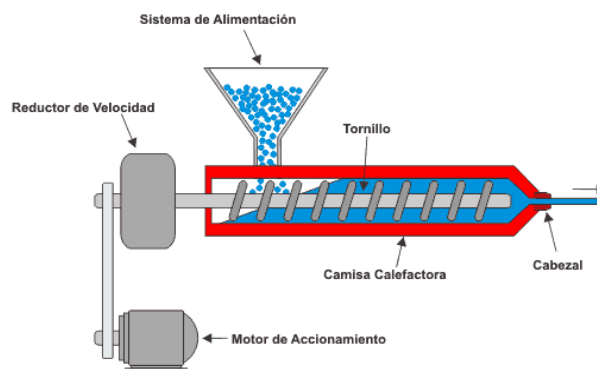


Fig. 2. Esquema simple de un extrusor.

Cualquiera que sea el tipo de enfriamiento, el comportamiento de las propiedades termofísicas tienen efecto similar, por un lado, por relacionarse directamente con la densidad, determina el flujo másico del equipo, por el otro caso, determina el tiempo de enfriamiento necesario para un producto de calidad [4-6]. Estos efectos evidentemente influyen en el desempeño energético y productivo de este proceso. El (poli cloruro de vinilo), PVC como materia prima generalmente presenta las siguientes características técnica. Vea la tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas del PVC empleadas generalmente en los procesos de extrusión de tuberías plásticas.		
Propiedad física	Valores.	Unidad de Medida
Densidad	1,37 - 1,42	kg/dm ³
Conductividad térmica	0,12 - 0,25	W/m K
Calor Específico	1000 -1500	J/kg °C

MÉTODO UTILIZADO

Las soluciones analíticas dadas en este estudio, son resultado de un proceso de simulación, cuya secuencia de cálculo se describe, en la figura 3, algoritmo de cálculo del procedimiento descrito, en que la expresión general de la ecuación de la conducción en régimen transitorio y el empleo del *software Wolfram Mathematica*, son las herramientas esenciales, puesto que en este caso, el proceso de enfriamiento, se produce mediante agua helada, en diferentes bañeras, se requiere de un control muy meticuloso, para lograr los mínimos tiempos de enfriamiento con la exactitud deseada, en correspondencia con las temperaturas y las propiedades termo físicas del material, para así lograr consumos energéticos, acorde a las producciones que se realicen como expresión de un mejor desempeño [6-9].

Para este caso, se escogió una tubería de PVC de 90 mm de diámetro, por utilizarse la misma en múltiples funciones, hidráulicas, eléctricas, sanitarias y otras. Se modeló el proceso de enfriamiento para determinar el tiempo mínimo que indique el nivel de producción e índice de consumo energético para diferentes espesores y tipos de propiedades. La temperatura del material a la salida de la extrusora, $T_s = 190$ °C, esta temperatura inicial, puede variar en correspondencia con el tipo de materia prima, al igual que la temperatura final, que generalmente se considera a la salida del tubo de la bañera y que para este caso fue de 30 grados y que también puede variar de acuerdo al clima donde este la instalación y los espesores utilizados.

La temperatura deseada para la superficie exterior de la tubería a la salida de la bañera generalmente es considerada la del medio ambiente, hasta que en la interior alcance los 60°C como consecuencia del aumento de los espesores, a partir de lo cual se comienza a utilizar este valor como referencia. La temperatura en la superficie exterior tiende a disminuir por debajo de la ambiental en la medida que sigue aumentando el espesor, debido a que comienzan a influir en el enfriamiento, las propiedades termofísicas de la materia prima utilizada, fundamentalmente la conductividad térmica [10-11].

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Durante la simulación fueron realizadas múltiples corridas, para cada una de las propiedades en estudio, para una tubería de 90 mm de diámetro y varios espesores en la tabla 2, se muestran las propiedades principales utilizadas para hacer las mismas al poner una constante y variación de las demás en una máquina cuyo consumo es de 121 kW y 270 kg/h de flujo.

Tabla 2. Propiedades del Material utilizado en las muestras.		
$\rho =$ (Densidad del material kg/m ³)	K= (Conductividad térmica W/m K)	Cp. = (calor específico J/kg °C)
1420	0,24	1500
1400	0.22	1370
1300	0.20	1200
1200	0.18	1100

La tabla 3, muestra un resumen del comportamiento del calor específico actuando como variable y se mantienen constantes la densidad y la conductividad térmica. Puede verse como en la medida que disminuye su magnitud, aumenta la producción, decreciendo el tiempo y por tanto existe un mejoramiento en los índices de consumo energético, situación que puede verse también en las figuras 4 y 5.

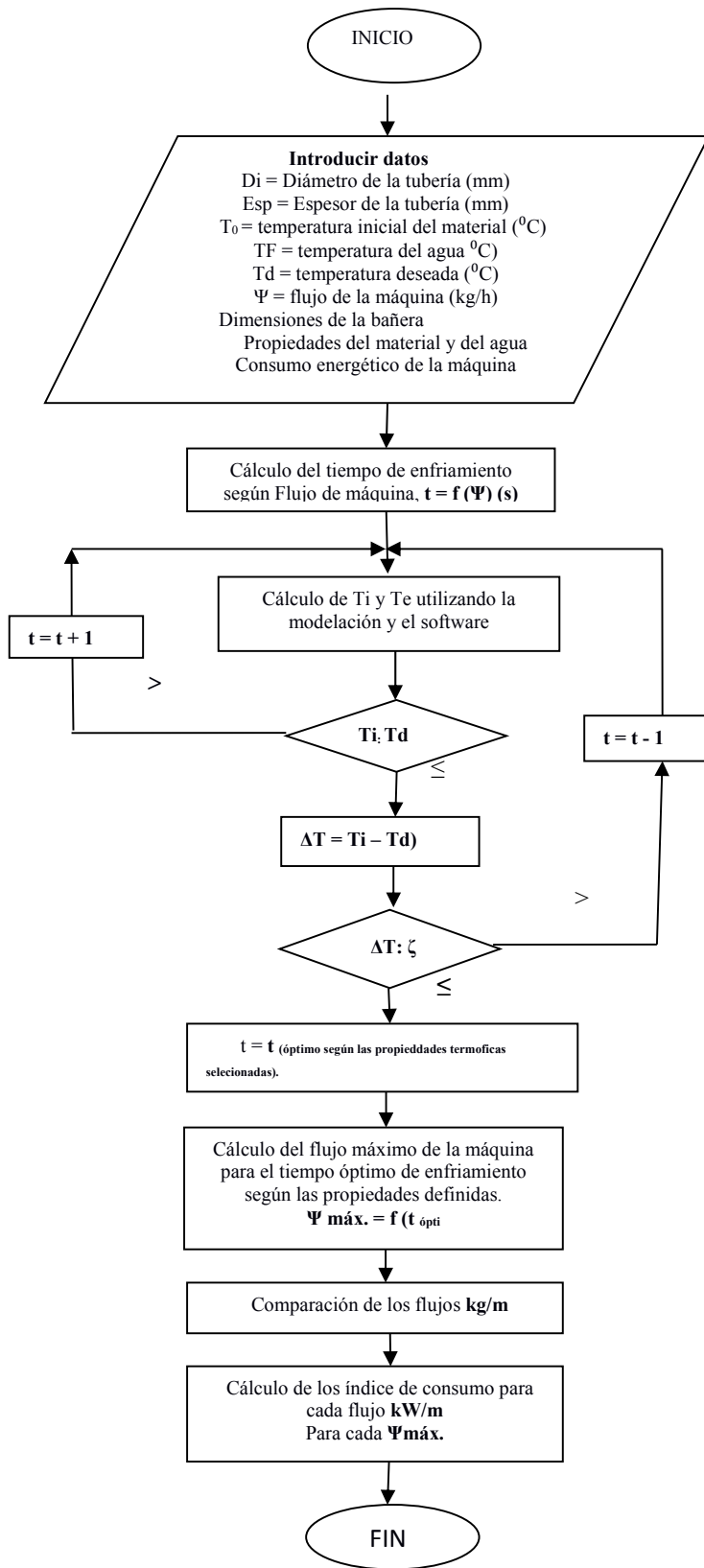


Fig. 3. Algoritmo de cálculo del procedimiento descrito.

Tabla 3. Resumen del comportamiento productivo y energético cuando varía el Cp., k y ρ son contantes, $\rho = 1420$ k = 0.22

Calor Específico (J/kg ⁰ C)	1500	1370	1200	1100
Espesor(mm)	1,8			
Producción (m)	2416	2645	3021	3295
Tiempomínimo (s)	95	87	76	70
Índice de consumo (kWh/m)	0,05008	0,04574	0,04005	0,03672
Espesor (mm)	2,2			
Producción (m)	1892	2071	2365	2580
Tiempomínimo (s)	122	111	97	89
Índice de consumo (kWh/m)	0,06395	0,05842	0,05116	0,04689
Espesor(mm)	2,7			
Producción (m)	1548	1695	1935	2111
Tiempomínimo (s)	149	136	119	109
Índice de consumo (kWh/m)	0,07816	0,07138	0,06253	0,05731

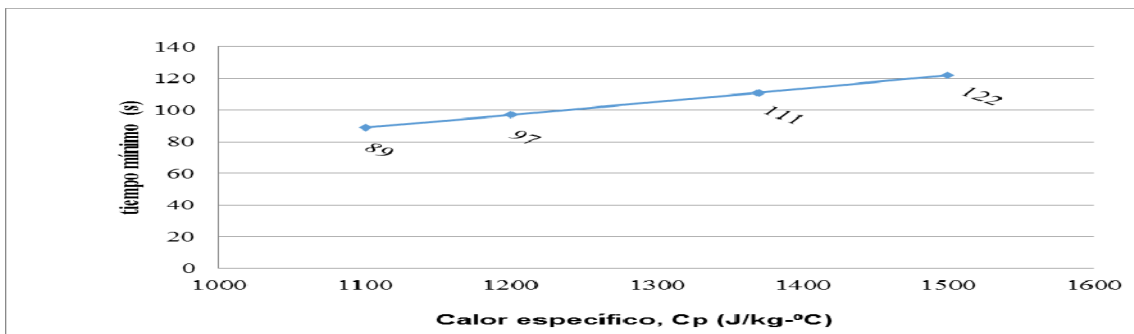


Fig.4. Relación entre tiempo mínimo y calor específico

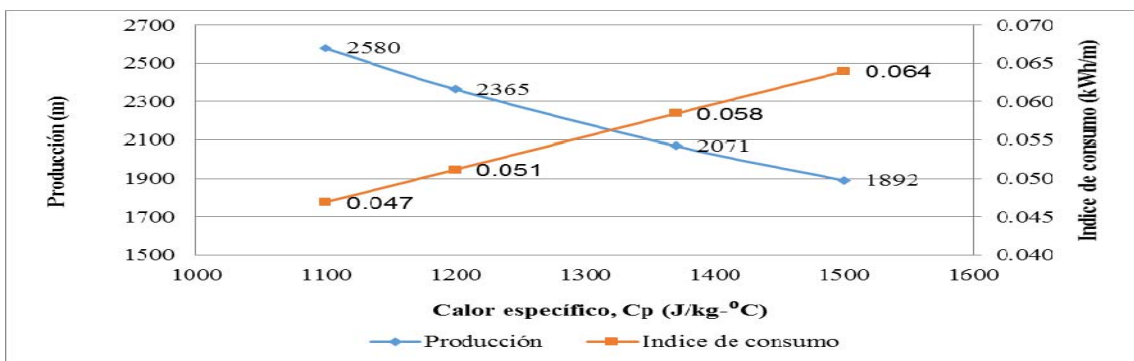


Fig. 5. Relación entre producción, calor específico e índice de consumo

La tabla 4. mostrada a continuación, representa un comportamiento de la variación de la densidad, manteniendo constante, la conductividad térmica y el calor específico, el resultado es que, en la medida en que decrece su magnitud, aumenta la producción, disminuyendo el tiempo mínimo y el índice de consumo, para cualquier espesor, siendo significativa la diferencia de los valores que representan los cambios. Esta propiedad es de las principales a tener en cuenta en el diseño de los flujos de las máquinas, puede observarse este planteamiento en las figuras 6 y 7.

Tabla 4. Resumen del comportamiento productivo y energético cuando varía ρ , k y C_p . Constantes, $k = 0,22$ $C_p = 1370$.

Densidad kg/m^3	1420	1400	1300	1200
Espesor(mm)	1,8			
Producción (m)	2645	2683	2889	3130
Tiempomínimo (s)	87	86	80	74
Índice de consumo (kWh/m)	0,04574	0,04509	0,04188	0,03865
Espesor(mm)	2,2			
Producción (m)	2071	2101	2263	2451
Tiempomínimo (s)	111	110	102	94
Índice de consumo (kWh/m)	0,05842	0,05759	0,05346	0,04936
Espesor(mm)	2,7			
Producción (m)	1695	1719	1851	2006
Tiempomínimo (s)	136	134	124	115
Índice de consumo (kWh/m)	0,07138	0,07038	0,06537	0,02417

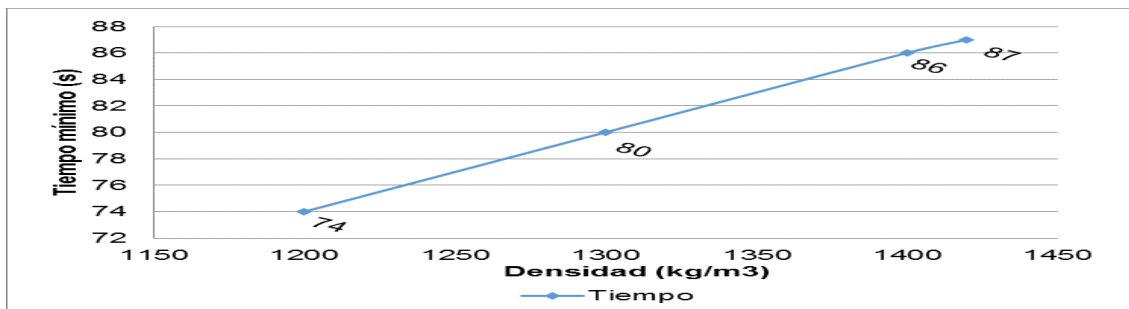


Fig 6. Relación entre tiempo mínimo y densidad

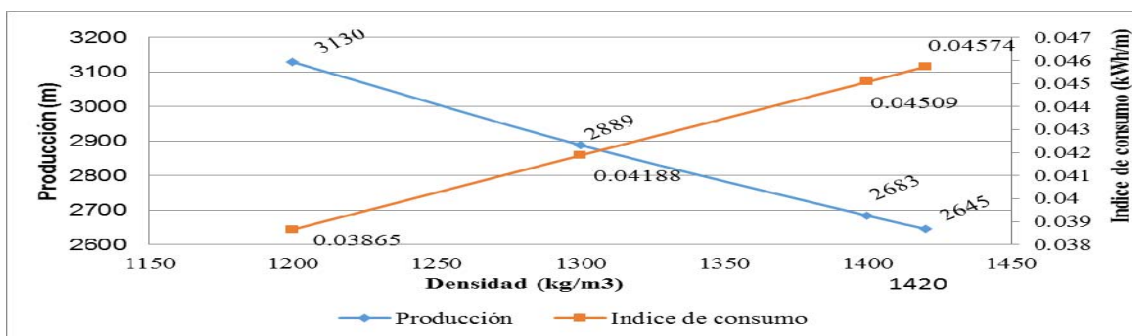


Fig 7. Relación entre producción, densidad e índice de consumo.

La tabla 5, muestra cómo se comportan los indicadores productivos e índices de consumo, con la variación de la conductividad térmica, manteniendo constantes, el calor específico y la densidad. Aquí sucede todo lo contrario, a los ejemplos anteriores, pues en la medida que decrece en magnitud, disminuye la producción, aumenta el tiempo y por consiguiente el índice de consumo, es apreciado también, en las figuras 8 y 9.

Tabla 5. Resumen del comportamiento productivo cuando varía la K, Cp. y ρ son constantes, $\rho = 1420$ Cp. = 1370				
Conductividad térmica W/m K	0,24	0,22	0,20	0,18
Espesor (mm)	1,8			
Producción (m)	2671	2645	2616	2582
Tiempomínimo (s)	86	87	88	89
Índice de consumo (kWh/m)	0,04530	0,04574	0,04625	0,04686
Espesor(mm)	2,2			
Producción (m)	2094	2071	2046	2017
Tiempomínimo (s)	110	111	113	114
Índice de consumo (kWh/m)	0,05778	0,05842	0,05913	0,05999
Espesor(mm)	2,7			
Producción (m)	1715	1695	1673	1649
Tiempomínimo (s)	134	136	138	140
Índice de consumo (kWh/m)	0,07055	0,07138	0,07232	0,07337

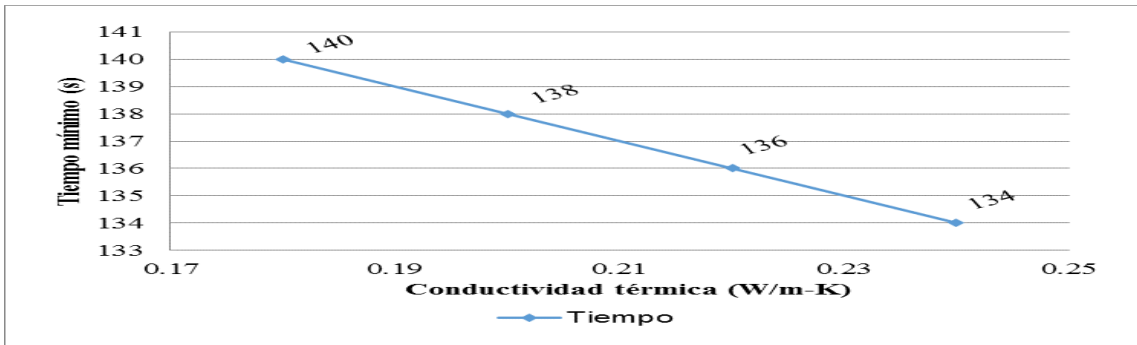


Fig 8. Relación tiempo, conductividad térmica.

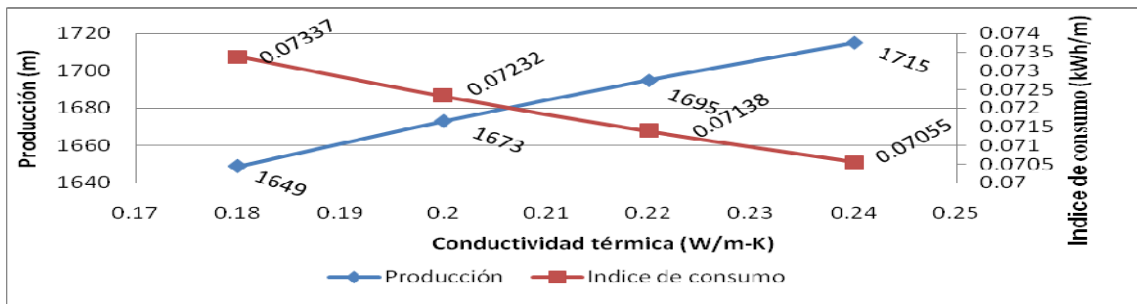


Fig. 9. Relación entre producción, conductividad térmica e índice de consumo.

CONCLUSIONES

1-. El conocimiento de las propiedades termofísicas de la materia prima, posibilita predecir el comportamiento de los resultados productivos y energéticos, apreciándose que cada una de ellas influye de forma diferente, por ejemplo la densidad y el calor específico en la medida que disminuyen sus magnitudes aumenta la producción y disminuyen los índices de consumo, en cantidades diferentes, mientras que la conductividad térmica tiene un comportamiento contrario, mientras disminuye lo hace la producción y aumentan los índices de consumo.

2-. Cuando sean utilizadas máquinas con diferentes flujos, los resultados productivos y energéticos pueden ser superiores, teniendo en cuenta que el proceso de enfriamiento puede ser ajustado convenientemente, según el comportamiento de estas propiedades, pues como se pudo apreciar son ellas las que determinan el proceder productivo.

REFERENCIAS

- [1] Krastek Robert Ramos, Saibel Duarte Ángel. "Formulación de un modelo matemático para optimizar el tiempo de producción en una planta extrusoras de tubos". Universidad, Ciencia y Tecnología, versión impresa uct. Vol. 16 no. 62 Puerto Ordaz mar. 2012, [consulta 9 de febrero de 2017 disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212012000100004. ISSN 1316-4821.
- [2] Antonio Jiménez Ramos y colectivo de autores "Mejoramiento de la eficiencia energética en los procesos de extrusión de tuberías plásticas" en Ingeniería Energética Vol. XXXVI, 2/2015, p.220-229, Mayo /Agosto, ISSN 1815 – 5901. [consulta 9 de febrero de 2017]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200011
- [3] Antonio Jiménez Ramos y colectivo de autores Wolfram Mathematica, aplicado a la transferencia de calor método solución exacta para procesos de extrusión. En Ingeniería Energética, 2017: XXXVIII, n, 1 p. 73-84, Enero/Abril, ISSN 1815-5901 RNPS-1958. [consulta 9 de febrero de 2017]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59012017000100009
- [4] Gloria Ines, Giraldo Gomes, Ana Lucia Gabas y otros. "Propiedades termofísicas del jugo concentrado de lulo a temperaturas por encima del punto de congelación" Ciencia y tecnología de alimentos campinas, 30 (Supl.1). 90-95 maio 2010. [Consulta 11 de diciembre de 2016] disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612010000500015. ISSN 0101-2061.
- [5] García G, J.J. y Rentería Rodríguez, E. (2013). "Resolver Problemas: Una estrategia para el Aprendizaje de la Termodinámica". En Revista Científica Guillermo de Ockham v.11, núm. 2 julio-diciembre 2013, pp. 117-134 Universidad de San Buenaventura Cali Colombia [consulta 23 de marzo de 2017] Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105329737009>. ISSN 1794-192X
- [6] Felicita Morales Álvarez "El modelo matemático de Fourier para el calentamiento Terrestre". Ciencia y Tecnología 13-2013, pp. 293-308, Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, México, [consulta 23 de febrero de 2017], disponible http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2014/13/CyT_13_20.pdf ISSN 1850-0870
- [7] Yosbel Romero Ramírez Carrera. "Tecnología para la producción de tubos de polietileno de alta densidad para la conducción de agua en la empresa Holplast de Holguín" Ingeniería metalúrgica Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba Ciencia & Futuro V. 4 No. 2 Año 2014, [consulta 10 de noviembre de 2016]. ISSN 2306-823X. Disponible en: https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/972
- [8] J. Suéscum, C. Correa, A. Rigail-Cedeño "Mejora de la eficiencia de una extrusora de doble tornillo utilizada en la fabricación de tuberías de PVC". Revista Tecnológica ESPOL Vol. 20 N. 1, 25-30 (octubre 2007), pág. 3-5, [consulta 15 de mayo de 2017] disponible en <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/158> ISSN: 0257-1749
- [9] Oswaldo, Tim A, y otros. "Retos en la Industria del procesamiento de plásticos y compuestos". Dyna, vol. 79 núm. 175, octubre 2012, pp. 20-28, Universidad Nacional de Colombia, [consulta 8 de abril de 2017] disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49624956005>. ISSN: 0012-7353.
- [10]. C. Andrés Vargas Isasa, Juan C. Posada Correa, Leyla Y. Jaramillo Zapata, Luis Alberto García "Consumo de energía en la Industria del plástico: Revisión de estudios realizados". Revista CEA/ 7005-1520, 2 PB. Pdf. Vol. 1 nro. 1 junio de 2015 pp-93-107 pág. 3-7, [consulta 10 de noviembre de 2016] Disponible en <https://docplayer.es/5846999-Consumos-de-energia-en-la-industria-del-plastico-revision-de-estudios-realizados.html>. ISSN 2390-0725.