 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Efecto del proceso de inyección en el consumo específico de energía en una inyectora de termoplásticos

Francisco Javier Agudelo Cuesta

Sergio Alejandro Mazo Flórez

Tecnología en electromecánica

Director(es) Carlos Andrés Vargas Isaza

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Fecha

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Uno de los temas claves en el procesamiento por inyección de termoplásticos para su alta productividad es su optimización, inicialmente se ha venido trabajando en lograr tiempos de ciclos más cortos manteniendo la calidad requerida de las piezas inyectadas. Sin embargo, debido a los incrementos en el costo de la energía, en la actualidad cobra importancia el consumo de energía requerido en la fabricación de las piezas plásticas inyectadas, donde el concepto de optimización en el proceso de inyección debe incluir adicionalmente criterios de eficiencia energética y/o consumos de energía específica.

En el mercado de plásticos cada vez más competitivo la optimización debe ser un proceso que se debe planear previamente, y no en el momento de realizar la puesta a punto de un molde de inyección en la planta de inyección, ya que se incurren en gastos de tiempo y dinero en pruebas de ensayo y error. Adicionalmente, que no se conoce con certeza si el ajuste obtenido en las condiciones de procesamiento de inyección sean las óptimas de acuerdo a los conceptos explicados anteriormente.

La propuesta del presente proyecto busca cuantificar y evaluar las condiciones de proceso de inyección más críticas en el consumo de energía de una máquina inyectora. Para este propósito se realizarán pruebas de procesamiento en la inyectora de termoplásticos del laboratorio de polímeros del ITM y paralelamente se medirá el consumo de energía respectivo con un equipo disponible también en el ITM, evaluando diferentes materiales y condiciones de proceso de inyección. Con los anteriores resultados se tendrá un referente para el equipo de consumos energéticos debido a un bueno a mal ajuste de la inyectora durante su procesamiento y se verificará con respecto a los estándares internacionales de equipos similares de inyección.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Se le brinda agradecimiento a la institución universitaria metropolitana (ITM) por habernos brindado la oportunidad de realizar el trabajo de grado en el laboratorio de materiales poliméricos, con el asesor y docente Carlos Andrés Vargas Isaza, aplicando todos los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación como tecnólogo electromecánico.

A la industria P. G. A. LTDA. por su asesoría en la conexión del equipo para ejecutar las pruebas o ensayo de las mediciones de este tipo de material termo plásticos (p p) mil gracias al gerente general: José Luis Granado y al asesor y docente de la institución Juan Carlos Posada: líder de transformación avanzada en materiales de la línea.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

CEE: consumo específico de energía

IEC: comisión electrónica internacional

KVARh: kilo voltio amperio reactivo hora

PP. (en polímeros): polipropileno

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....
2.	MARCO TEÓRICO.....
3.	METODOLOGÍA
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO
	REFERENCIAS
	APÉNDICE.....

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

El moldeo por inyección ha sido el método más popular para la fabricación de productos de plástico debido a la alta eficiencia y capacidad de fabricación. El proceso de moldeo por inyección incluye cuatro etapas importantes: llenado volumétrico, llenado gravimétrico, enfriamiento y expulsión. Tradicionalmente la mayor preocupación en el moldeo por inyección ha sido La producción de piezas de alta calidad sin defectos y en algunos casos con propiedades mecánicas óptimas. Muchos estudios realizados han tratado de eliminar defectos en los productos de plástico. Para ajustar la temperatura de enfriamiento de la pieza inyectada, los parámetros del circuito de refrigeración se optimizan mediante análisis por software CAE. En el caso de la reducción de la deformación, la combinación del método de las superficies de respuesta o redes neuronales con un algoritmo genético se lleva a cabo con el fin de obtener los parámetros óptimos (1). Sin embargo, estos estudios no tienen en consideración el consumo de energía del proceso de inyección, el consumo de presión y la legislación medioambiental para las empresas del sector de plásticos.

Para mejorar la aplicación práctica, tanto el consumo de energía y la calidad del producto debe ser tomado en consideración. El ahorro para el proceso de moldeo por inyección se puede dividir en dos objetivos. En el primer objetivo, las empresas y fabricante del producto se centran en tecnologías de mejora de la máquina y de fabricación relacionados con el moldeo por inyección hardware de la máquina y equipo auxiliar. El segundo objetivo se centra en la optimización de los parámetros del proceso de inyección, para reducir el consumo de energía.

Mientras que, en el primer objetivo, la adopción de la nueva generación de máquinas o reconstruidas con dispositivos de ahorro de energía avanzado es muy caro, un costo mucho más bajo se requiere en el segundo objetivo basado en la optimización del proceso de los cuales sólo se requieren datos experimentales o simulados. En este objetivo, se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

establece un modelo matemático entre los parámetros del proceso y un modelo energético, basado en datos suministrados. A través de optimización de parámetros de ahorro de energía. (1)

Se da un alto porcentaje de consumo de energía cuando se hace el proceso de la plastificación por los tipos de producto, tamaños del material para poder fundirlos, tipos de plástico en la recámara o barril. Requiriendo diferentes tipos de velocidades para cada producto y diferentes tipos de calentamiento. A mayor temperatura de fusión mayor consumo de energía. (1)

El consumo total de energía se muestra en la Figura 1.

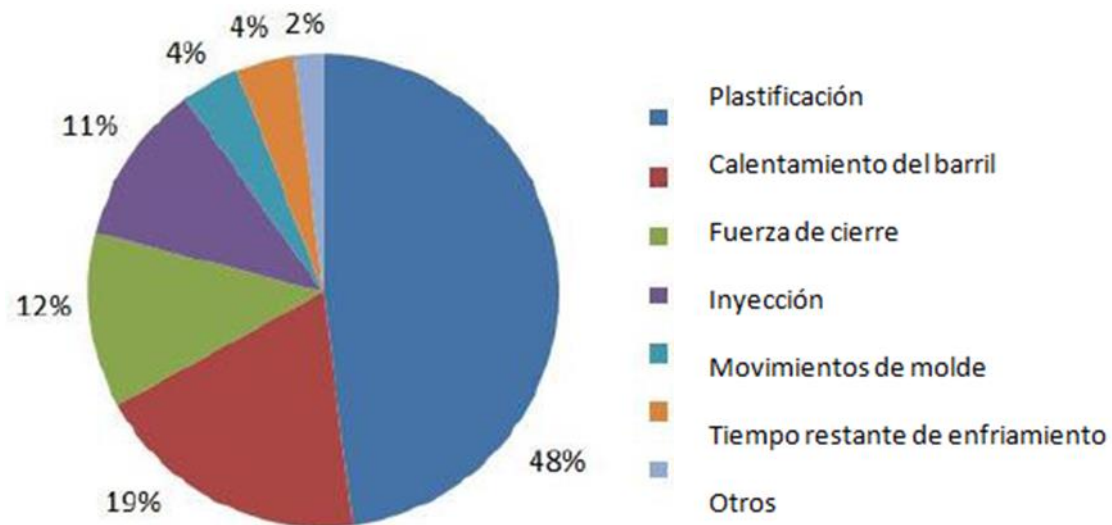


Figura 1. Consumo total de energía por proceso de inyección (2)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Consumo específico de energía

El consumo específico de energía se define como el consumo energético expresado en **Kw.h** dividido entre la productividad o peso producido expresado en **Kg**

$$\text{Consumo específico (Kw.h/Kg)} = \frac{\text{consumo energético (Kw.h)}}{\text{productividad (Kg)}}$$

Entendiendo el consumo de energía como la potencia eléctrica del equipo de procesamiento durante el tiempo de ciclo del producto fabricado.

Estas variables fueron las registradas durante el proyecto desarrollado, con respecto a los efectos que pueden tener las variables del proceso de inyección en el consumo específico de energía en una inyectora de termoplásticos.

Maquinaria de Inyección de plástico

Las máquinas de inyección son máquinas universales, cuya tarea principal es la fabricación discontinua de piezas a partir del moldeo de plástico fundido y con las acciones de elevadas presiones. (3)

El moldeo por inyección trabaja mediante una cavidad cuya forma es idéntica a la de la pieza que se desea obtener el tamaño al adecuado se aplica un factor de contracción para que al enfriarse la pieza moldeada se logren las dimensiones deseadas, esta cavidad se llena de material plástico, ya fundido que se solidifica en la forma moldeada deseada (3).

La máquina de inyección de plástico es usada para la fabricar diferentes tipos de productos sólidos mediante la inyección directa del plástico en un molde en donde se llena una cavidad y adquiere la forma del producto deseado. Entre los productos que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pueden ser fabricados con la máquina de inyección se encuentran, envases, botellas de plástico, utensilios domésticos, tapas, entre otros.



Figura 2. Máquina inyectora de plástico eléctrica (3)

Inyectora de plástico Eléctrica.

Es una máquina que ha venido revolucionado el mercado de inyección del plástico, cuando se pretende en el mejoramiento de la productividad, precisión, y reducir la repeticiones de ciclos, con alta resistencia en su desempeño energético.

En todas las máquinas eléctricas los ejes con accionamiento eléctrico principales, es decir, inyecciones, dosificación y apertura de cierre del molde son accionados servo eléctricamente de forma estándar y de esta forma son totalmente independiente uno de otro. Con una presión, dinámica y baja emisión de ruido Consiguen un alto rendimiento junto con una alta eficiencia energética. (3)

Con características de diseño especiales que han logrado la reducir en el consumo de energía en valores cercanos al 50%, comparado con inyectoras hidráulicas del mismo tamaño; además, proporcionan un aumento del 18% en la velocidad de inyección, una presión de inyección 15% mayor, un aumento del 60% en la fuerza de contacto en la

boquilla y un 17% más de fuerza de expulsión La máquina trabaja con motores servo, eléctricos con accionamiento directo para impulsar la unidad de inyección; la mayor fuerza de contacto se logra en el área de la boquilla de inyección.

Algunas características que sean venido implementando en las inyectoras eléctricas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Inyección de plástico de alta velocidad.
- Barril y control de temperatura en la garganta de la máquina.
- Dosificación del material de alta presión.
- Control de compensación de volumen de inyección de plástico.
- Recomendación óptima (mínima) fuerza de cierre.
- Cierre de molde uniforme.
- Ajuste automático de fuerza de cierre.
- Ajuste de cierre directo.
- Protección de molde de alta sensibilidad.
- Mecanismos de inyección y cierre durable y confiable.
- Sistema de engrasado mejorado. (3)



Figura 3. Máquina inyectora de plástico hidráulica (3)

Inyectoras Hidráulicas de plástico de doble Inyección

Las inyectoras de plástico hidráulicas estándar son máquinas con mayor acceso a la industria del moldeo del plástico, por su versatilidad cuando hablamos de generar grandes presiones en nuestros productos inyectados. Con grandes calidades en este tipo de inyectoras de plástico más usadas a nivel mundial.

Las Inyectoras de plástico de doble inyección están equipadas con mecanismo de cierre de 2- pistones con esta forma su transmisión es muy ideal para la fuerza de cierre en ambos lados del molde. Evolucionando cada día las condiciones de las inyectoras hidráulicas y logrando una mayor eficiencia de inyección del plástico así teniendo mejores productos de alta calidad, Adicionalmente, con su control de alta velocidad (550 microsegundos) el mecanismo de rotación servo motor realiza la rotación del molde a alta velocidad, reduciendo este tiempo al 50% con parados con máquinas convencionales hidráulica. (3)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Características Claves:

- Control TAC.
- Servomotor para el sistema de rotación.
- Rotación durante la apertura del molde.
- Apertura de alta velocidad del molde.
- Tiempo de expulsión rápido.
- Sistema de cierre de molde de doble pistón.
- Más rápida rotación de husillo y plastificación.
- Tonelaje 120tf (132us ton).
- Sistema de rotación activo por servomotor
- Sistema de sujeción de molde de 2 pistones
- inyección de plástico de dos colores. (3)



Figura 4. Maquina inyectora de plástico híbridas (4)

Inyectoras de plástico híbridas

Inyectoras híbridas son inyectoras de plásticos diseñada para satisfacer la necesidad del fabricante del moldeo por inyección , con este tipo de inyectoras podemos producir piezas con un alto estándar de calidad de productos conformes sin limitaciones algunas, cuya característica principal es su eficiencia energética, por el diseño modular de dos cuerpos que combina la fuerza dinámica de la máquina hidráulica y la rapidez y la precisión de la maquina eléctrica, a comparación de otras inyectoras de plásticos. Garantizado una inyección exacta debido a los movimientos simultáneos que ejecuta y reduce eficazmente los tiempos de ciclos, con lo que conseguirá incrementar la rentabilidad de su producción.
(4)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Aspectos destacados

Ahorro de energía hasta un 40% en comparación con las máquinas hidráulicas.

Caída especialmente exacta y reproducible de las piezas inyectadas a la expulsión sincrónica.

Diferencia en los procesos de Inyección entre las máquinas Inyectoras de plástico

Eléctrica, hidráulica, híbrida:

Eléctrica: alto grado de eficiencia energética mejor precisión en la pieza o productos debido a la corta carrera del control de los diferentes ejes con accionamientos individuales, calidad óptima, mayor velocidad de inyección, menor consumo energético hasta 70% ahorro de agua con el mismo porcentaje. Fácil limpieza bajo nivel de ruido (3).

Hidráulicas: presentan ciertas ventajas con inyecciones en piezas de mucho peso, o paredes muy delgadas estas máquinas hidráulicas no tienen competencia cuando se necesitan grandes presiones a inyectar, el mantenimiento y velocidades muy elevadas. Favorece a la duración del molde, con una mayor flexibilidad en el plato de cierre., reduciendo este tiempo al 50%. En comparación con las máquinas convencionales hidráulicas (Casi equivalente al de las inyectoras eléctricas). Se puede mantener una alta presión de sostenimiento por largo tiempo (comparado con una máquina eléctrica). Ideales para fabricar productos pesados y gruesos. Gracias a la eficiencia del circuito hidráulico, el aceite prácticamente no se calienta, reduciendo los requerimientos de agua de enfriamiento y los efectos sobre la máquina o el proceso.

Híbridas: con estas máquinas lo que pretenden, los moldeadores de inyección de plástico, es tener la velocidad y fuerza de inyección. Buscando la optimización de sus productos, siendo eficientes energética y ambientalmente. (4)

Medidores de energía

Un medidor de energía eléctrica es el conjunto de elementos electromecánicos o electrónicos que se utilizan para medir el consumo de energía, tanto activa como reactiva y en algunos casos su demanda máxima. En otras palabras, es un instrumento destinado a medir la energía mediante la integración de la potencia activa o reactiva en función del

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

tiempo. Y puede o no incluir dispositivos de transformación de datos. Como se ve en la figura 5. (5)

Medidores estáticos (electrónicos):



Figura 5. Medidores estáticos nansen (6)

Circuito electrónico: el procesador o chip se encarga del procesamiento de los datos de corriente y tensión recibidos de los convertidores de señal analógica a digital, para calcular la potencia consumida por el cliente. (5)

Shunt: en electrónica es una carga resistiva a través de la cual se deriva una corriente eléctrica la resistencia de un shunt es utilizada para determinar la intensidad del corriente a través de una carga, mediante medición de la diferencia de potencial en sus terminales, valiéndose para esto de la ley de Ohm ($I=V/R$). (5)

Registrador: el registrador es de tipo tambor o ciclo métrico no lubricado, la unidad principal es el kw/h, los materiales de los engranajes son de material duro plástico resistente a los rayos ultravioleta, con alta resistencia a la deformación y al desgaste, resistentes a las temperaturas de funcionamiento. Por ser una unidad compacta con el motor paso a paso no requiere ajustes adicionales durante su vida útil. Dadas las características de diseño, el registrador sólo se mueve en sentido positivo aun cuando las conexiones se encuentren invertidas, lo cual le da una característica ANTIFRAUDE. Adicionalmente, cuenta con un protector contra campos magnéticos externos y un protector contra perforaciones desde el exterior. Protector de campos magnéticos y electrostáticos: evita influencias de campos externos normales o provocados intencionalmente por el cliente. Según su construcción (elementos de tensión y de corriente). (5)

Los medidores eléctricos inteligente Microstar

Por su capacidad de suministrar más datos que otros medidores de su categoría, hacen que el sistema NMC logre su máximo desempeño al poder transportar gestionar y amplios

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

paquetes de información. Pueden ser tipo IEC o DIN RAIL. De un medidor se pueden obtener los siguientes datos:

Voltaje, corrientes, potencia, fase y Perfil de carga factor de potencia, frecuencia, fecha, hora, entre otros, como se muestra en la figura 6. (5)



Figura 6. Medidor eléctrico microstar (7)

Medidor electromecánico

Partes de un medidor de inducción o electromecánico: Tapa principal: cubierta frontal del medidor, hecha completamente de material transparente u opaco, provisto con ventanas que permiten ver el movimiento del rotor y leer la energía registrada. Sus partes son:

Base: es la parte posterior del medidor que sirve para fijarlo y al cual se fijan el chasis, los terminales, el bloque de terminales y la tapa del medidor. Caja de conexiones o bornes: también llamado bloque de terminales, soporte fabricado de material aislante en el cual están agrupados todos o algunos de los terminales del medidor. Consta de:

- Tornillos, Mordaza, Empaque
- Tornillos de fijación de los bornes a la base
- Bornes internos Tornillo externo de tensión.
- Tornillos de los bornes
- Bornes o terminales
- Puente interno de Tensión
- Puente de neutro

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Lámina de fijación de la tapa principal y la tapa bornera al bloque de terminales.

Tapa bornera: Tapa que cubre los terminales del medidor, y generalmente los extremos de los conductores externos o cables conectados a los terminales. Tiene tornillos de fijación.

Placa de características: Parte que define o agrupa todas las características técnicas del medidor. La placa de características puede ser fijada a través de una lámina o un tornillo. Consta de: Marca, Número de fases e hilos, tipo, clase diagrama de conexión, tensión, corriente, frecuencia, constante (kh o kd), año de fabricación, modelo, número de serie, cojinete superior.

Cojinete superior: Elemento de fijación del eje del disco que permite el desplazamiento del mecanismo del rotor, es generalmente de tipo aguja.

Cojinete inferior: elemento de fijación del eje del disco que permite el desplazamiento del mecanismo de rotor, puede ser de tipo doble joya o de repulsión magnética.

Registrador o numerador: es la parte del medidor que hace posible la determinación del valor medido. También recibe el nombre de fichero. Consta de. Tornillos de fijación del registrador. Son los que fijan ajustan el registrador al chasis y el eje del disco. Chasis del registrador. Piñones de transferencia y ejes de los piñones, los piñones se contarán del piñón de ataque hacia afuera. Piñón de ataque y eje del piñón. Tambores y ejes de los tambores.

Los tambores deberán ser cinco enteros y un decimal, todos los tambores tendrán diez divisiones, además la quinta parte de cada división deberá estar resaltada. Los tambores se contarán de derecha a izquierda. Trinquetes y ejes de los trinquetes

Continuación se muestra la imagen de un medidor electromecánico. (5)



Figura 7. Medidor electromecánico huabang (8)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Medidor monofásico bifilar (una fase y un neutro)

Es el medidor de uso más frecuente en instalaciones residenciales. Está compuesto por una bobina de tensión y una de corriente. Su capacidad está normalmente entre 15 A y 60 A un medidor monofásico bifilar de uso más frecuente como se muestra en la figura 8. (5)



Figura 8. Medidor monofásico bifilar jaz shenzhen (9)

Medidor monofásico trifilar (dos fases)

Está compuesto por dos bobinas de tensión y dos bobinas de corriente. Se usa para medir la energía consumida por aparatos que funcionan a 220V principalmente en la zona rural y aparatos que funcionan a 120V. (5)



Figura 9. Medidor monofásico trifilar (10)

Medidor bifásico trifilar (dos fases y un neutro)

Está compuesto por dos bobinas de tensión y dos bobinas de corriente. Se usa para medir la energía consumida por aparatos que se requieran para su funcionamiento de dos fases a 208 V o 220 V, como por ejemplo motores de menos de 10 HP o aires acondicionados

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

hasta 12000 BTU/h. con este medidor se puede medir la energía consumida por otros aparatos conectados a la misma instalación que funcione a 120 V. (5)



Figura 10. Medidor bifásico trifilar (11)

Medidor trifásico tetrafilar (tres fases y un neutro)

Está compuesto por tres bobinas de tensión y tres bobinas de corriente. Se utiliza para medir la energía consumida por aparatos que requieran funcionar con tres fases a 208 V, como por ejemplo motores de más de 10 HP. por ejemplo como se muestra en la figura 11. (5)



Figura 11. Medidor tetrafilar (12)

Medidor trifásico cuatro hilos.

Para medir el consumo de energía de servicios trifásicos cuatro hilos estrella, se tiene un medidor de tres elementos motores (FORMA 16A), donde cada elemento está conformado por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 120 ó 127 V. fase-neutro. Para medir el consumo de energía de servicios trifásicos cuatro hilos delta, se tiene dos alternativas:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con un medidor de tres elementos motores (FORMA 17A), donde están conformados dos de los elementos por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 120 V. fase-neutro y el tercero por una bobina de corriente una de potencial a 240 V fase-neutro.

Con un medidor de dos elementos motores (FORMA 15A) donde están conformados el uno por dos bobinas de corriente y una bobina de potencial para 240 V. fase-fase y el otro por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 240 V. fase-neutro y al cual se conectará la fase de mayor diferencia de potencial con respecto al neutro. (5)



Figura 12. Medidor trifásico cuatro hilos. (13)

Energía activa

Corresponde a la potencia activa y se mide en kW/h. Los contadores estáticos trifásicos de la serie AMT B1x-OAxTESTAN de terminados para la medida de energía activa con una tarifa con la presentación del consumo medido en el registro mecánico y con la indicación de algunos estados de red. Se pueden usar para la medida en casa, empresas comerciales e industriales etc. (5)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 13. Contador estático trifásico (14)

Energía reactiva

Corresponde a la potencia reactiva y se mide en kVARh. se observa un medidor de activa-reactiva en la figura 14 (5)



Figura 14. Medidor de energía reactiva (15)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se proponen las siguientes actividades:

- **Selección de condiciones de proceso de inyección y su efecto en consumo de energía:** De acuerdo a reportes de literatura e investigaciones preliminares se seleccionaron algunas condiciones de proceso de inyección más demandantes en el consumo de energía de una inyectora.

Se da un alto porcentaje de consumo de energía cuando se hace el proceso de la plastificación por los tipos de producto, tamaños del material para poder fundirlos, tipos de plástico en la recámara o barril. Requiriendo diferentes tipos de velocidades para cada producto y diferentes tipos de calentamiento. A mayor temperatura de fusión mayor consumo de energía. (1).Indicando que la mayor cantidad de energía se consume en la plastificación, donde la tasa de consumo fue del 48%. Los gastos de calentamiento del barril fueron del 19%. La Tasa de utilización de la fuerza de cierre fue del 12%. Fuerza de inyección 11%. Movimiento del molde 4% tiempo de enfriamiento 4% y otros consumos 2%

Plastificación o dosificación.

Se puede identificar que es una variable donde se combinan una serie de movimientos, tales como: el inicio del giro del husillo pasando el material a la tolva de alimentación y a la cámara de inyección donde se da la homogenización de la temperatura del plástico en forma paralela a la etapa de enfriamiento. El husillo entonces transporta el material hacia delante, generando un retroceso de este por la acumulación que se produce en la zona delantera del husillo, luego se producen otras etapas en la plastificación como la contrapresión y la succión.

Presión de inyección.

Es la presión que se requiere para vencer la resistencia que el material fundido produce a lo largo de su recorrido por el husillo desde el cilindro de plastificación hasta el molde, esta presión corresponde a la fase de llenado del molde, con esta se pretende llenar la cavidad en un 90 o 95%, para luego terminar de llenar la pieza con una segunda presión y velocidad, su función es de completar el llenado y de compensar la contracción y así introduciendo un poco más de material fundido en el molde, su objetivo es de mantener baja la presión en el material fundido.

Cierre del molde.

Es la que la maquina ejerce para mantener cerrado el molde durante la inyección, esta depende de la superficie proyectada de la pieza y de la presión real, que se tiene en la cavidad del molde.

La unidad del cierre mueve las dos mitades del molde para unirlos. Manteniendo una fuerza la cual cierra el molde herméticamente. La unidad de plastificación se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

mueve hacia el canal en el molde, la boquilla está abierta el material que está delante del husillo es inyectado dentro del molde, por el movimiento del avance del mismo. Donde los sistemas hidráulicos deben ejercer grandes esfuerzo en la fase de inyección manteniendo la fuerza de cierre, han de ser capaces de inyectar el material al molde la presión elevada y precisa. El sistema hidráulico debe supera la resistencia ofrecida por la boquilla y el molde.

- **Selección de materiales y piezas a inyectar:** Se evaluó un polipropileno en dos tipos de moldes diferentes, uno de pared gruesa de espesor de 3, 5 mm de espesor (ver figura15) y uno de espesor típico de inyección de 1.3 mm (ver figura 16), para comparar los consumos de energía con estos dos tipos de productos inyectados.

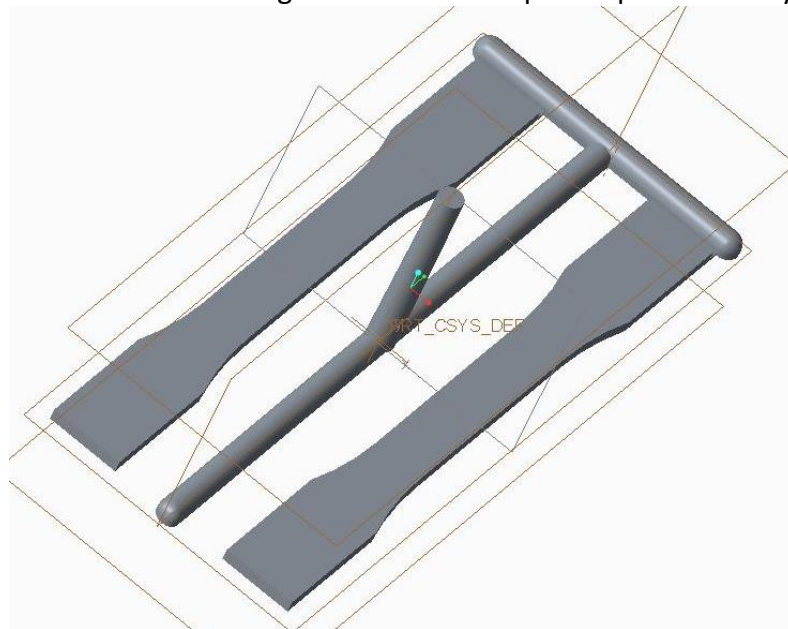


Figura 15. Piezas inyectadas de pared gruesa de 3.2 mm de espesor (molde probetas de tensión).



Figura 16. Piezas inyectadas de 1.3 mm de espesor (molde portavasos).

- **Determinación de ensayos y diseño de experimentos de inyecciones:** Debido a la gran cantidad de procesamiento de datos por medición realizada, se acordó

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

realizar por variable de proceso de inyección evaluar dos diferentes niveles para cada molde de inyección, para posteriormente calcular el respectivo consumo específico de energía.

- **Proceso de inyección y mediciones energéticas:** A partir de las pruebas determinadas en el paso anterior, se procederá a realizar el proceso de inyección y montaje de medición de consumo de energía. Esta actividad se realizará con los asesores del proyecto quienes conocen y tienen experiencia en el uso de la inyectora y el medidor de consumos de energía. Para la medición del consumo de energía se empleó un equipo de medición de la marca Fluke, en la figura 17 se presenta el equipo empleado.



Figura 17. Medidor de consumo de energía marca Fluke. (16)

Especificaciones técnicas del equipo de medición

Ancho de banda: 200 MHz

Número de canales 200 MHz: 4 canales

Frecuencia de muestreo en tiempo real: 2,5 GS / s

Entradas aisladas flotantes independientemente Hasta: 1000 V CAT III / 600 VCAT IV entre entradas, referencias y tierra

Intervalo de tiempo: 2 ns - 2 min / div

Sensibilidad de entrada: 2 mV-100 V / div

Tipos de disparadores: Connect-and-View™, Free Run, Single Shot, Edge, Delay,

Fuente de disparo: Cualquier canal de entrada de alcance

Captura de interferencias: 8 ns

Medidas de alcance Cursor: 7

Especificaciones ambientales

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Temperatura de funcionamiento: 0 ° C a 40 ° C Incluye baterías 0 ° C a 50 ° C
Excluyendo las baterías

Temperatura de almacenamiento: -20 ° C a + 60 ° C

Altitud de operación Hasta: 2.000 m (6666 pies) para CAT IV 600 V, CAT III 1000 V
Hasta 3.000 m (10.000 pies) para CAT III 600 V, CAT II 1000 V

Especificaciones de seguridad

Seguridad eléctrica: 1.000 V CAT III / 600V CAT IV (EN61010-1)

Especificaciones mecánicas y generales

Tamaño: 270 x 190 x 70 mm

Peso: 2,2 kg

Las inyecciones fueron realizadas en el laboratorio del de polímeros del ITM y en la empresa Industrias PGA. En ambos casos se empleó una inyectora de la misma marca y especificaciones técnicas, inyectora Welltec de 90 toneladas de fuerza de cierre y 35 mm de diámetro de husillo (ver figura 18).



Figura 18. Inyectora empleada para realizar las mediciones de energía.

Procedimiento de ajuste de inyección y conexión de medidor de energía

- Se procede a energizar y encender la máquina inyectora, se espera un lapso de tiempo de 30 minutos para que la máquina tenga las condiciones ideales de inyección como su temperatura de aceite, circulación de líquidos refrigerantes por el sistema hidráulico y que el material plástico empiece a fundirse.
- Se inicia a ajustar los parámetros de operación de la inyectora como son: tiempo de plastificación, tiempo de llenado, tiempo de pos presión, presión de llenado, presión de sostenimiento, fuerza de cierre.
- Se conecta el equipo de medición desde el tablero de distribución de las protecciones eléctricas, poniendo en cada una de sus líneas un conector del equipo de medición y ajustando los parámetros de medición.

- Se hacen unas inyecciones de prueba en la máquina, para verificar dichos parámetros de medición del equipo y para evitar diferencias de consumo en los procesos de inyección por vacíos de llenado en el molde, o porque el material plástico fundido no ha llenado por completo el barril por donde pasa el material plástico.
- Posteriormente, se toman y guardan las mediciones hechas por el equipo y se toma una de las muestras inyectadas para pesarse.

Procedimiento de adquisición de datos de consumo específico de energía

- Para poder conocer el consumo de energía inicialmente se debe tener una relación de potencia vs tiempo, obtenida de las mediciones hechas en la maquina inyectora, tal como se muestra en la figura 19.

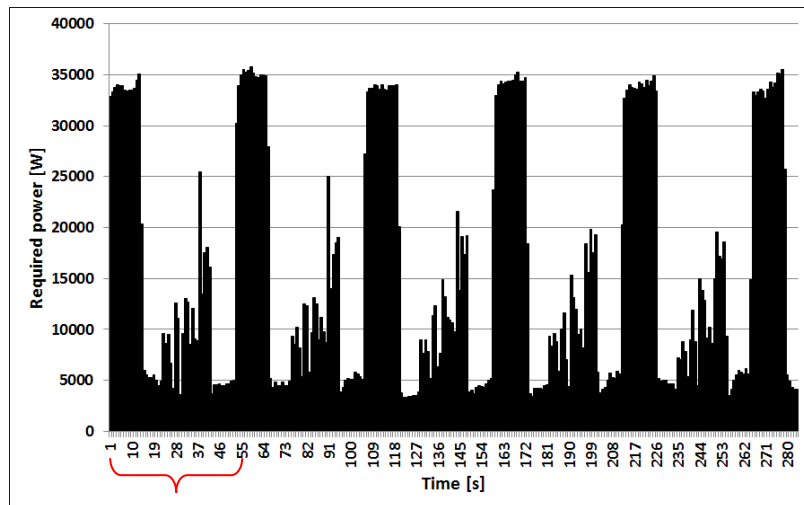


Figura 19. Consumo de energía de la inyectora por ciclos de inyección.

De los datos obtenidos con el medidor de energía se selecciona la potencia durante el tiempo de ciclo de inyección del producto. Posteriormente, se integra el área bajo la curva de estos datos, obteniéndose los datos expresados en Kw.h.

- Finalmente, el consumo específico de energía se obtiene del consumo de energía dividido el peso del producto inyectado expresado en kg.

$$CEE = \frac{kw.h}{kg}$$

- **Reporte de resultados:** Los resultados de las pruebas se reportaron en diagramas de barras para comparar las CEE de cada condición de proceso.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conclusiones de datos tomados

Las variables tomadas para la conclusión de las pruebas de inyección son:

- Nivel de pospresion
- Velocidad de plastificación
- Contrapresión
- Fuerza de cierre
- tiempo de pospresion

Bajo las condiciones de materiales de polipropileno (PP) semicristalino con las piezas probeta de tensión y portavasos se concluye:

4.1 Molde probetas de tensión:

- **Efecto de la velocidad de plastificación:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 1, variando la velocidad de plastificación de 15 a 40 mm/min. Se puede concluir que, al incrementar la velocidad de plastificación, hay un incremento en el consumo específico de energía, tal como se ilustra en la siguiente gráfica.

Tabla 1. Condiciones de proceso de inyección para medición de velocidad de plastificación

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
30	15	18	300	0	500
	40				

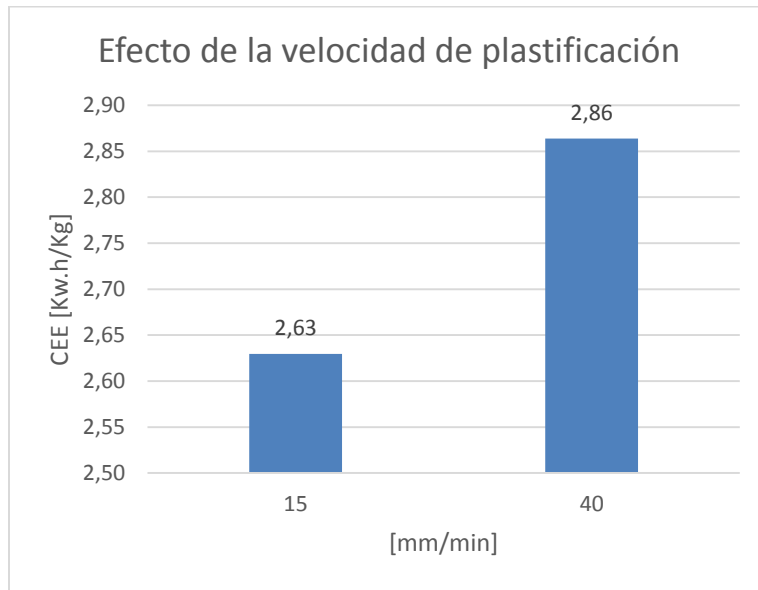


Figura 20. Efecto de la velocidad de plastificación en el CEE del molde probetas.

- Efecto de la contrapresión:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 2, variando la contrapresión de 0 a 50 bar. Se puede concluir que, al incrementar la contrapresión, hay un incremento en el consumo específico de energía, tal como se ilustra en la siguiente gráfica.

Tabla 2. Condiciones de proceso de inyección para medición de la contrapresión

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
40	15	18	300	0	500
				50	

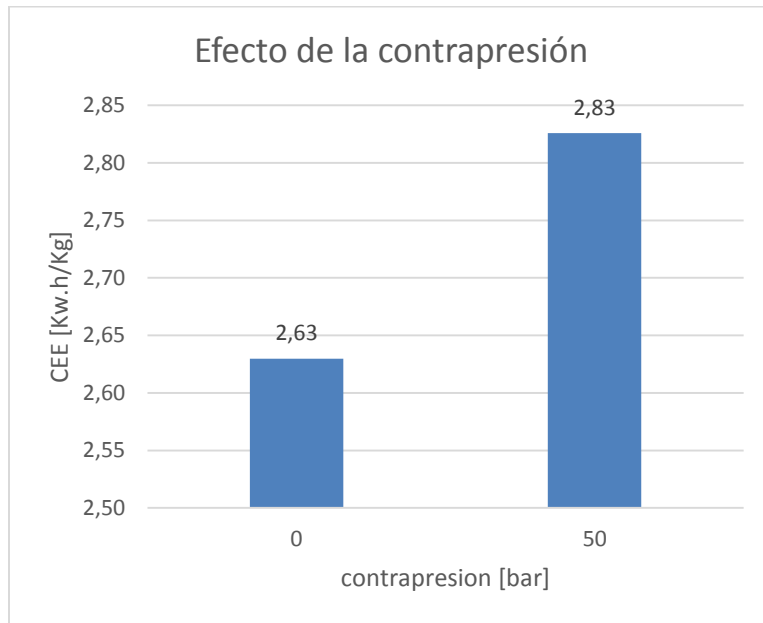


Figura 21. Efecto de la contrapresión en el CEE del molde probetas

- Efecto de la velocidad de inyección:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 3 variando la velocidad de inyección en 20, 40 y 80 mm/s. Se muestra un consumo específico que se mantiene en un rango entre 2.82Kw.h/kg a 2.9 Kw.h/kg, variando la velocidad de inyección. Esto muestra que aparentemente al inyectar más lento el producto (menos Kg/h), el consumo específico de energía sea mayor. Sin embargo, no es concluyente este comportamiento, ya que al inyectar más rápido puede requerir una mayor potencia de la máquina y el CEE puede incrementarse. Se requerirán entonces a futuro más ensayos para corroborar los resultados obtenidos.

Tabla 3. Condiciones de proceso de inyección para medición de la velocidad de inyección

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
20	15	8	600	0	500
40					
80					

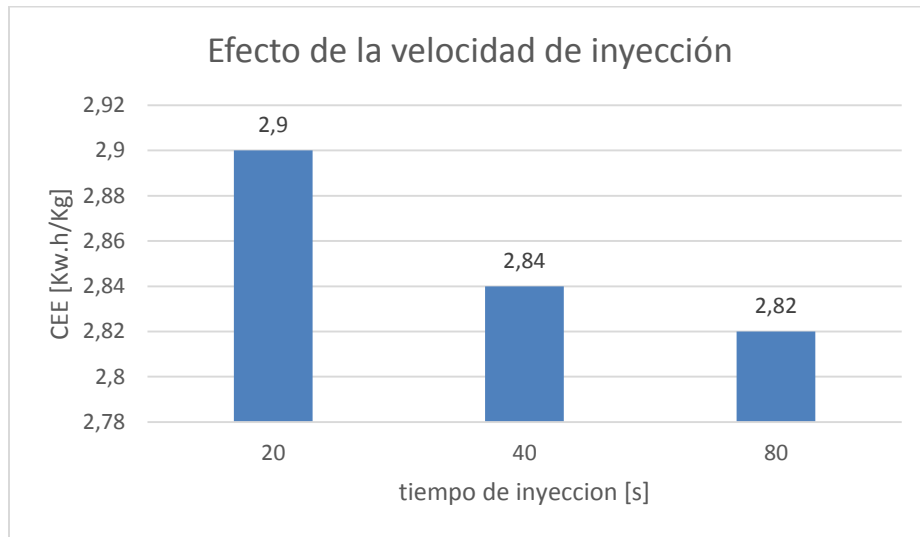


Figura 22. Efecto de la velocidad de inyección en el CEE del molde probetas.

- **Efecto de la pospresión:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 4, variando la pospresión de 300 a 600 bar. Se puede concluir que si se aumenta el nivel de pospresión en este caso al doble aumenta el consumo específico de energía, como nos lo muestra la gráfica.

Tabla 4. Condiciones de proceso de inyección para medición de la pospresión

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
40	15	18	600	0	500
			30		

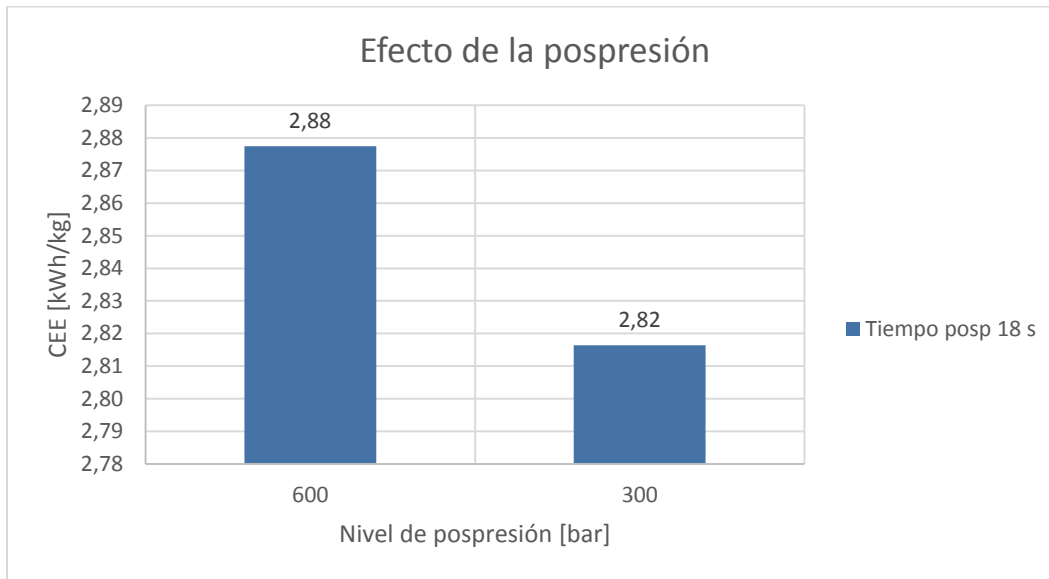


Figura 23. Efecto de la pospresión en el CEE del molde probetas.

- **Efecto de la fuerza de cierre:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 5, variando la fuerza de cierre de 500 a 900 N. Se concluye que si se aumenta la fuerza de cierre también aumenta el consumo específico de energía.

Tabla 5. Condiciones de proceso de inyección para medición de la fuerza de cierre

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
40	15	18	300	0	500
					900

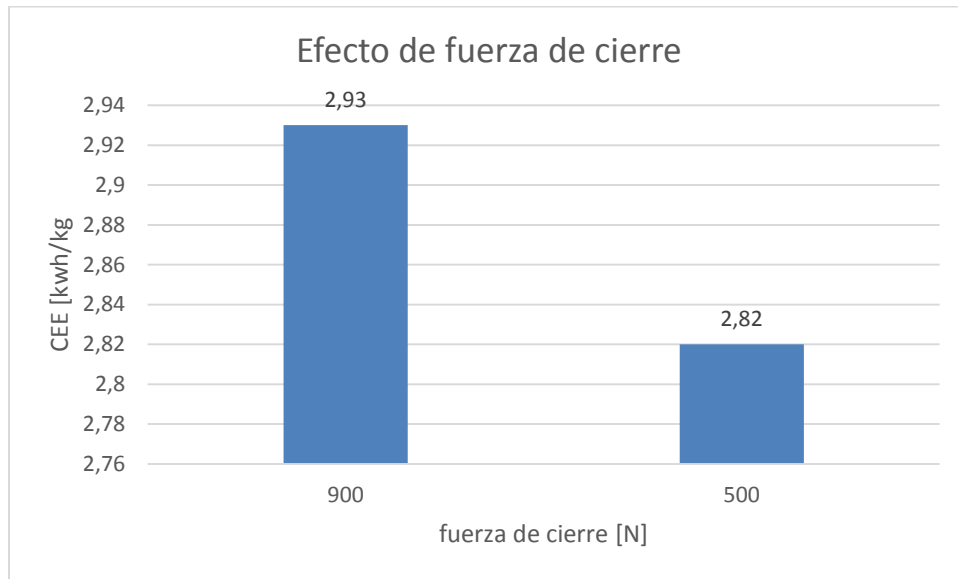


Figura 24. Efecto de la fuerza de cierre en el CEE del molde probetas.

4.2 Molde portavasos:

En las pruebas hechas en este molde no se hicieron cambios en la contrapresión.

- **Efecto de la velocidad de plastificación:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 6, se concluye que si se reduce la velocidad de plastificación aumenta el consumo específico de energía como lo indica la siguiente gráfica.

Tabla 6. Condiciones de proceso de inyección para medición de la velocidad de plastificación

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
50	30	1.5	700	0	670
	20				
	50				

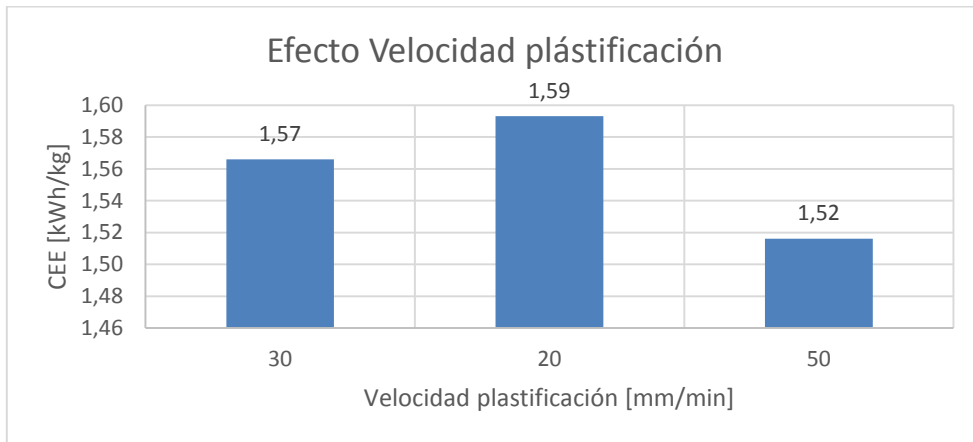


Figura 25. Efecto de la velocidad de plastificación en el CEE del molde portavasos.

- **Efecto de la velocidad de inyección:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 7, no se observa una tendencia clara como se observó en el molde de probetas, estos se puede explicar porque este es un molde de pared delgada, se requieren más datos para tener una tendencia o conclusión definitiva.

Tabla 7. Condiciones de proceso de inyección para medición de la velocidad de inyección

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
80/63/30/25/13	30	3	500	0	670
80/40/25/25/13					
70/35/25/26/13					
70/35/25/26/13					
70/35/25/26/13					

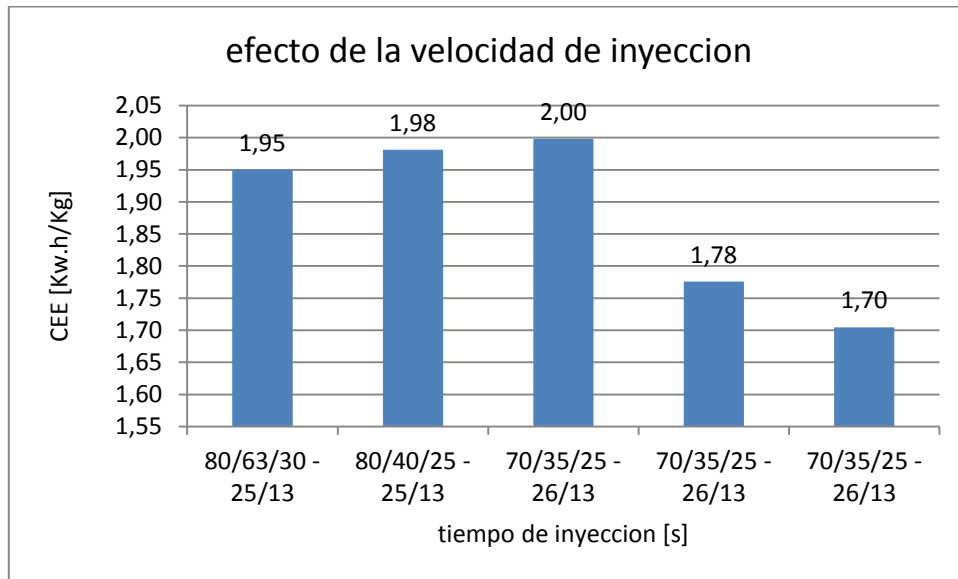


Figura 26 Efecto de la velocidad de inyección en el CEE del molde portavasos.

- **Efecto de la pospresion:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 8, se concluye que si se aumenta el nivel de pospresion aumenta el consumo específico como lo ilustra la siguiente gráfica.

Tabla 8. Condiciones de proceso de inyección para medición de la pospresion

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pospresión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
50	30	3	700	0	670
			500		

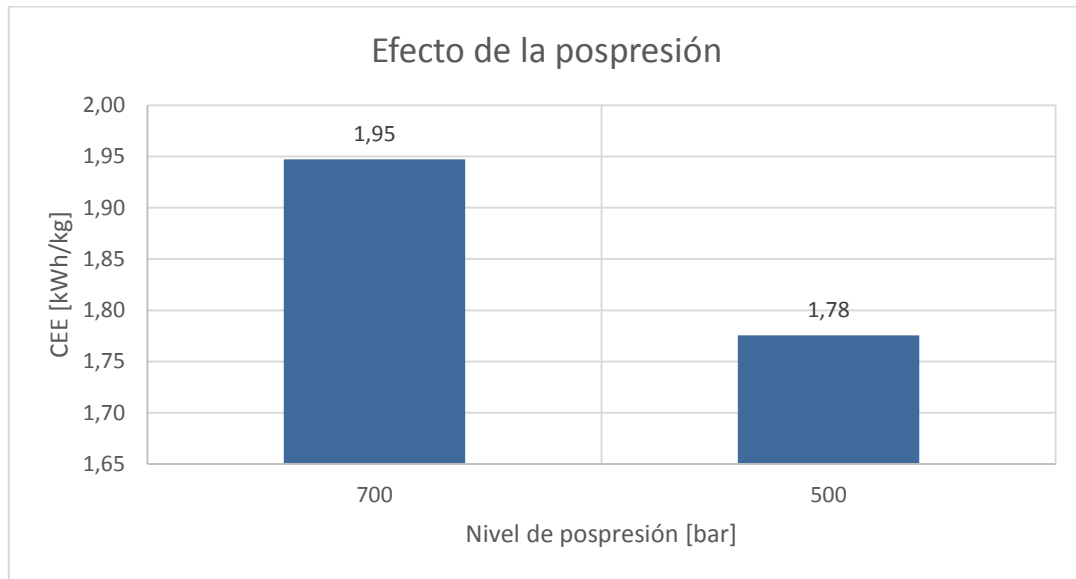


Figura 27 Efecto de la pospresión en el CEE del molde portavasos.

- **Efecto de fuerza de cierre:** Se inyectaron muestras a las condiciones indicadas en la tabla 9, se concluye que a mayor fuerza de cierre mayor consumo específico como lo indica la siguiente gráfica.

Tabla 9. Condiciones de proceso de inyección para medición de la fuerza de cierre

Velocidad inyección (mm/s)	Velocidad de plastificación (mm/min)	Tiempo pos presión (s)	Nivel de pospresión (bar)	Contrapresión (bar)	Fuerza de cierre (N)
50	30	5	500	0	670
					800

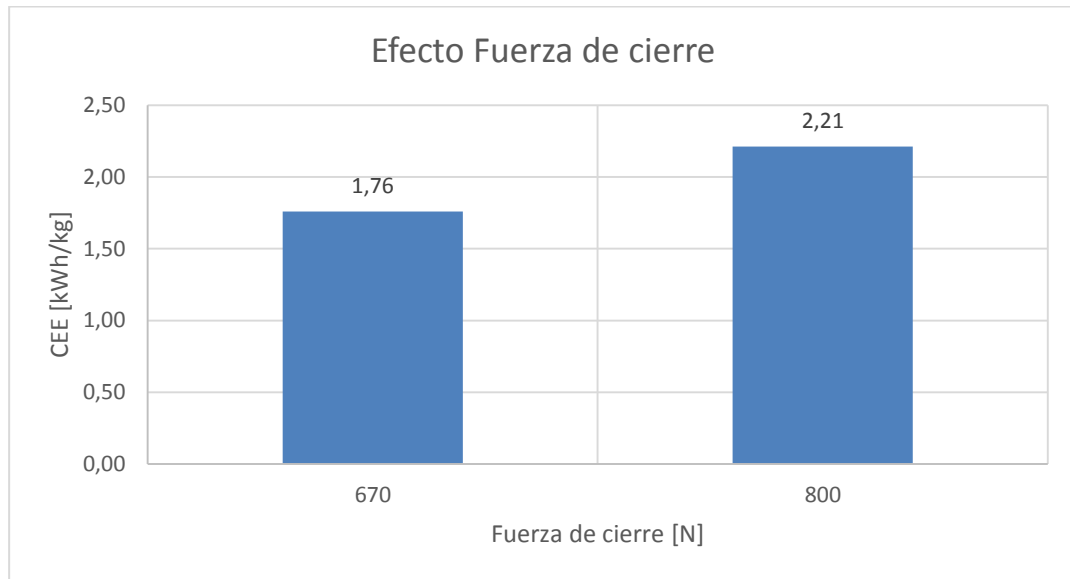


Figura 28 Efecto de la fuerza de cierre en el CEE del molde portavasos.

4. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Debido a las múltiples condiciones de proceso que tiene la inyección de plásticos, para el análisis de consumo específico de energía, se decide priorizar en cuatro condiciones. Nivel de pos presión, Velocidad de plastificación, Fuerza de cierre y tiempo de pos presión, condiciones que influyen en gran porcentaje en el consumo energético.

Las condiciones se midieron en diferentes tiempos, fuerzas y presiones para poder conocer cuál es su comportamiento de consumo de energía y cuál debe ser el valor ideal de ajuste en la inyectora con relación a las demás condiciones no medidas así poder reducir el consumo específico de energía.

Se concluye que el aumento de velocidad de plastificación, contrapresión, nivel de pospresión y fuerza de cierre aumenta el consumo específico de energía, en cambio cuando se aumenta la velocidad de inyección el consumo específico de energía

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

disminuye como lo indica la gráfica efecto de la velocidad de inyección, esto para el caso de la pieza probeta de tensión.

En la pieza portavasos el comportamiento de consumo de energía en las muestras tomadas y en las condiciones de proceso es el mismo al comportamiento arrojado en la pieza probetas, excepto la velocidad de inyección en el cual la tendencia no es clara, lo cual se puede explicar por el espesor delgado de esta pieza, sin embargo se requieren más datos para establecer una conclusión.

Sacando un promedio de consumo específico de energía de las piezas inyectadas del molde probetas en 2.92 kwh/kg y un consumo específico de energía en el molde portavasos de 1.85 kwh/kg se evidencia un mayor consumo en este primer molde como consecuencia de un mayor tiempo de pospresión debido a la geometría de la pieza inyectada.

Se selecciona material polipropileno (pp) semicristalino en las piezas probeta de tensión y portavasos, material disponible en el laboratorio de polímeros del ITM.

La inclusión y medición de más condiciones de proceso de inyección ayudaría a arrojar datos mucho más precisos del consumo específico de energía.

Se recomienda a futuro realizar mediciones en materiales de inyección diferentes al PP tales como los amorfos, para establecer el efecto del material a inyectar.

Con base a lo encontrado en este proyecto se podría regular en gran escala el consumo energético, no solo en inyectoras de plástico sino también en otro tipo de maquinaria que no sea de inyección pero que presente un alto consumo de energía, lo que mejoraría la competitividad a nivel industrial.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- (1) Injection-Molding-Resources. Plastic Injection Molding. (<http://www.injection-molding resource.org/>). Accessed March 2007. 2. Injection Molding Machines (<http://www.immnet.com/articles?article=2198>)
3. Carl Kirkland, All Electric Newcomers, Plastics Auxiliaries and Machineries Magazine article July 5th 2006(<http://www.pmamagazine.com/articles/2006/Jul> <http://ftw.w.plastico>. Ccnvinvrnr 'Eco eficiencia -en-el- uso-&energía en la producción
- (2) Park Nguyen – 2014 Optimization of injection molding process for car fender in Consideration of energy efficiency and product quality
- (3) <https://www.arburg.com/es/productos-y-servicios/moldeo-por-inyeccion/maquinas-de-inyeccion> (3)
- (4) <http://www.inyectorasplastico.com/inyeccion-plastico>.
- (5) Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Selección de equipos para medición de energía eléctrica. Bogotá. ICONTEC, 2007.
- (6) https://www.google.com.co/search?q=medidores+estaticos+nansen&espv=2&biw=1280&bih=923&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjK5vWwxu7PAhVC Mz4KHWUDBVEQ_AUIBigB#imgsrc=vGc_LdO8tBHI5M%3A
- (7) changchun/product Kema-Certified-DIna-Compliant-Three-Phase-Energía
- (8) Tomada directamente de un Medidor HUABANG DE TIPO Dt862.
- (9) [search?q=Medidor+monofásico+bifilarespv=2&biw=1366&bih=662&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjK5vWwxu7PAhVC Mz4KHWUDBVEQ_AUIBigB#imgsrc=vGc_LdO8tBHI5M%3A](https://www.google.com.co/search?q=Medidor+monofásico+bifilarespv=2&biw=1366&bih=662&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjK5vWwxu7PAhVC Mz4KHWUDBVEQ_AUIBigB#imgsrc=vGc_LdO8tBHI5M%3A)
- (10) <http://www.metrex.com.co/medidores-energia>
- (11) <http://www.ingemerc.com/medidores/>
- (12) <http://dycon.co/products/medidor-electronico-energia-activa-trifasico-tetrafilas-3x120208v-6a-inelca>
- (13) http://www.electrocornejo.com/subcategoriab.php?pageNum_libros_consulta=0&totalRows_libros_consulta=14&idcat=7&idsub=22
- (14) https://www.google.com.co/search?q=contador+est%C3%A1tico+trif%C3%A1sico&espv=2&biw=1280&bih=918&tbm=isch&imgil=0LrZZrKGqeYTvM%253A%253Bo9iZRP UKi6tFPM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.rymel.com.co%25252Findex.php%25252Fproductos%25252Fmedidores-de-energia-tipo-electronico%25252Ftrifasico-tetrafilas-3f4h-2&source=iu&pf=m&fir=0LrZZrKGqeYTvM%253A%252Co9iZRP UKi6tFPM%252C_&usg=__EQIEqqo5mqHf_PIVq_vGXkQFHZQ%3D&ved=0ahUKEwiQ7pCWkfzPAhUD8z4KHYTP CuYQyjclKQ&ei=Lo0SWJcFJIPm-wGEn6uwDg#imgsrc=0LrZZrKGqeYTvM%3A

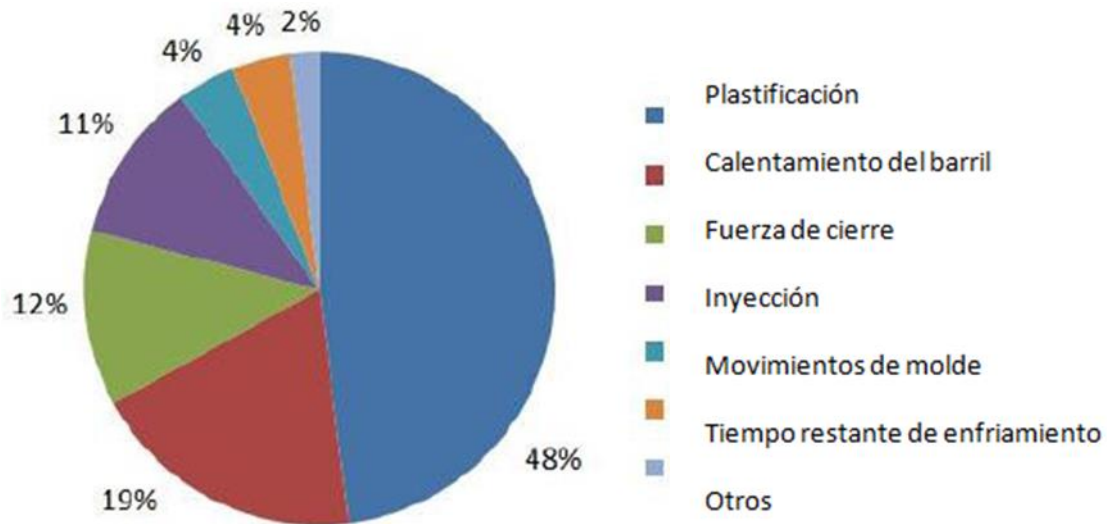
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(15)[http://www.ariol.com.bo/instrumentos/index.php?option=com_content
&view=article&id=72&Itemid=102](http://www.ariol.com.bo/instrumentos/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=102)

(16)<http://en-us.fluke.com/products/portable-oscilloscopes/fluke-190-ii-portable-oscilloscope-190-204-s.html>

APÉNDICE

APENDICE: 1 medición de horro de energía de una maquina inyectora de plástico de las variables a utilizar



APENDICES: 2 material utilizado para las pruebas o ensayos polipropileno semicristal no pieza probeta.



Propiedades física y química, ensayos que se sometidas las probetas tenciones, impactos y flexión.

