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

# **Auditoría energética de la línea de producción de bolsas para el re empaque de la empresa Plasmar S.A.**

Jonathan Alexis Orrego Cataño

Yormen Montoya Ocampo

Programa

Ingeniería Electromecánica

**Asesor**

M. Ing. Luis Fernando Cardona Sepúlveda

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2017**

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

## RESUMEN

---

En la planta de producción de productos de empaques flexibles llamada Plasmar S.A se realizó una auditoría energética de la línea de producción de bolsas para el re empaque, la cual es una de sus principales líneas de producción. El objetivo principal es determinar los costos energéticos específicos que tiene la producción completa de una bobina de 50 kg de peso, desde el producto virgen hasta el procedimiento de sellado y embalado para su distribución. Esta información permite realizar comparaciones con compañías que tienen sistemas de producción similares e identificar puntos críticos en el sistema, así como mejoras en la línea de producción que permiten la reducción de costos en producción y el aumento del margen de ganancias.

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

## RECONOCIMIENTOS

---

Agradecemos a nuestras familias por sus esfuerzos y apoyo brindado en nuestros estudios de pregrado, y al docente asesor por ser el acompañante necesario para la culminación de esta tesis de grado. E igualmente a la empresa plasmar S.A que nos permitió realizar la auditoria energética en sus instalaciones.

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

# ACRÓNIMOS

---

- (URE)** Uso Racional de la Energía
- (A)** Amperios
- (V)** Voltios
- (kW)** kilo vatio
- (kWh)** Kilo Vatio Hora
- (kWh/kg)** kilo Vatio Hora sobre Kilogramo
- (Lb/h)** Libras hora
- (COP)** Colombia Pesos
- (EE)** Energía Eléctrica
- (ET)** Energía Térmica
- (Vac)** Voltaje de corriente alternante
- (Vdc)** Voltaje de corriente directa
- (AC)** Corriente Alternante
- (DC)** Corriente Directa
- (HP)** Caballos de energía
- (CCM)** Centro de Control de Motores

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

# TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1 Objetivos .....	8
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
2.1 Máquina extrusora de plásticos .....	9
2.2 Procesos de extrusión .....	9
2.1.1 Zona de alimentación .....	9
2.1.2 Zona de compresión .....	10
2.1.3 Zona de dosificación .....	10
2.3 Partes principales de una extrusora .....	10
2.3.1 Tolva .....	10
2.3.2 Barril o Cañón .....	11
2.3.3 Tornillo extrusor .....	11
2.3.4 El Motor .....	12
2.3.5 Dado extrusor .....	12
2.3.6 El Cabezal .....	13
2.3.7 Boquilla .....	14
2.4 Sistema de Impresión .....	15
2.4.1 Forma de impresión .....	15
2.4.2 Máquina de impresión tipo tambor .....	16
2.4.3 Sistema de entintado Anilox: .....	17
2.5 Sellado .....	18
2.6 Enfuellado .....	20
2.7 Demanda energética del extrusor y sus pérdidas .....	21
2.8 Procedimiento para una auditoria energética .....	23
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Análisis del proceso productivo.....</b>	<b>26</b>
3.2 Análisis del proceso técnico .....	28

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

3.3 Distribución de la planta .....	30
3.4 Tiempos de operación.....	32
3.5 Toma de datos en el área.....	32
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
4.1 Toma de datos en el área.....	34
4.2 Cálculo del consumo energético .....	36
4.3 Comparación de resultados. ....	37
4.4 Costo de la energía.....	38
<b>5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>40</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>8. ANEXO.....</b>	<b>43</b>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

La industria del sector plástico ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años, ya que los polímeros han remplazado en gran parte la materia prima, de materiales como madera, vidrio, acero entre otros, por sus múltiples ventajas que ofrece como su baja densidad y su facilidad para ser moldeado. Debido a esto su demanda está aumentando, lo que exige tener procesos cada vez más óptimos para su elaboración. Actualmente los esfuerzos son centrados en el uso racional de la energía (URE) en los procesos, llevándonos entonces al estudio de las fuentes principales de energía usadas en la manufactura del producto final (Abeykoon et al., 2014).

Como sabemos el carbón es uno de los combustibles con precio más bajo, pero su eficiencia y los requerimientos técnicos de uso de los equipos, junto con sus exigencias de tipo logístico y ambiental limitan su utilización a casos muy específicos. En cambio, la energía eléctrica, que aunque es la más costosa en muchos casos, es de las más utilizadas debido a que numerosos equipos que únicamente pueden usar este energético (COSENIT S.A., s.f.).

Desde hace vario tiempo, la problemática energética se ha convertido en un tema cada vez más importante a estudiar, ya que los costos de la energía son más altos, y las industrias buscan optimizar sus procesos para obtener una mayor rentabilidad en sus negocios. El URE nos lleva a realizar diversos análisis para resolver este conflicto, tales como la auditoria energética, que busca abordar determinada área de una planta y evaluar su gasto energético para fabricar su producto final.

La empresa Plasmar S.A (Imagen 1) es una compañía fabricante de empaques flexibles impresos, creada en 1.985, y ubicada estratégicamente en la ciudad de Medellín Colombia. Actualmente se tienen incorporados a los procesos más de 300 colaboradores con una capacidad instalada de 800 toneladas mes. Su compromiso está dirigido a mantener y mejorar la confianza de sus clientes mediante la calidad y el servicio, garantizando su competitividad (Plasmar S.A, s.f.).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El consumo energético de Plasmar S.A genera un costo considerable durante la elaboración de sus productos. Por tanto, en este trabajo se plantea una auditoria energética donde se evalúa el rendimiento, la capacidad, hábitos de producción, mantenimiento y tiempos de fabricación, los cuales son complementados con toma de datos experimentales del proceso. Esta información permite llegar a conclusiones de cómo se puede mitigar pérdidas energéticas y se proponen planes de acción para contribuir con el ahorro energético de la empresa Plasmar S.A.



*Imagen 1. Logo plasmar. Fuente: ("Plasmar S.A," n.d.)*

## 1.1 Objetivos

### General

Elaborar una auditoria energética industrial con el objetivo de conocer los costos energéticos que conlleva el proceso total de producción de una bobina que pesa 50kg de bolsa para re-empaque, para realizar comparaciones con plantas de producción similares, buscar reducir este precio en consumos sin afectar la eficiencia de las máquinas y elaborar planes de acción con el objetivo de tener una línea de producción competente en el área.

### Específicos

1. Tomar mediciones reales de las máquinas que comprenden la línea de producción para bolsas de re empaque, para luego obtener los costos que se generan en dicha línea, así como la eficiencia de transformación de energía.
2. Buscar diferentes alternativas para la reducción de costos energéticos en la línea de producción.
3. Generar planes de acción pertinentes y necesarios luego de la obtención de los resultados en los datos.

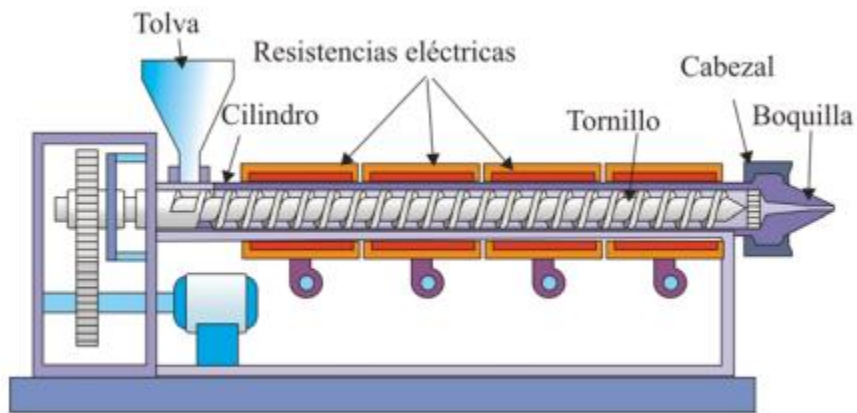
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Máquina extrusora de plásticos

Una máquina extrusora es un equipo capaz de producir artículos de forma continua, a partir de un material polimérico, el cual es llevado a cabo mediante la transformación de un material que es sometido una temperatura de fundición, y es forzado a ser transportado por una boquilla, el cual nos genera dicho artículo.



**Imagen 2.** Esquema general de una máquina extrusora (Beltran & Marcilla, 2009)

### 2.2 Procesos de extrusión

Una explicación breve al proceso de extrusión parte de alimentación, la cual es a través de una tolva por la que es insertado el polímero, ya se ha pre-fundido o no (esto depende de su proceso). Una vez esté la materia prima en la tolva ésta pasa al cilindro donde se aloja el husillo, el cual es el encargado de transportar el polímero por tres zonas: alimentación, transición y dosificación. Estas se pueden apreciar en la imagen 3.

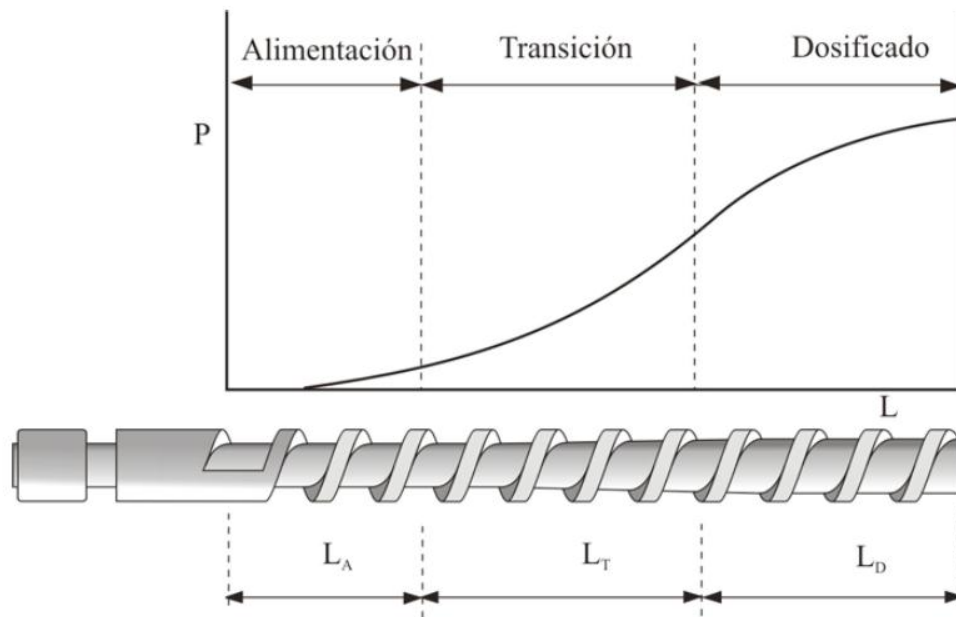
**2.1.1 Zona de alimentación:** esta es la parte la cual empalma con la tolva, donde los filetes (distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo) son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

interior del extrusor, aceptado el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido.

**2.1.2 Zona de compresión:** en esta parte el material se va compactando más, donde los filetes del tornillo decrecen gradualmente (compactación) y se expulsa el aire atrapado entre los pellets. Cumple la función de fundir y homogenizar el material.

**2.1.3 Zona de dosificación:** esta zona es la última donde se ejerce presión sobre el material para dosificarlo hacia el cabezal y garantiza que el material salga de la extrusora homogéneo, a la misma temperatura y presión.



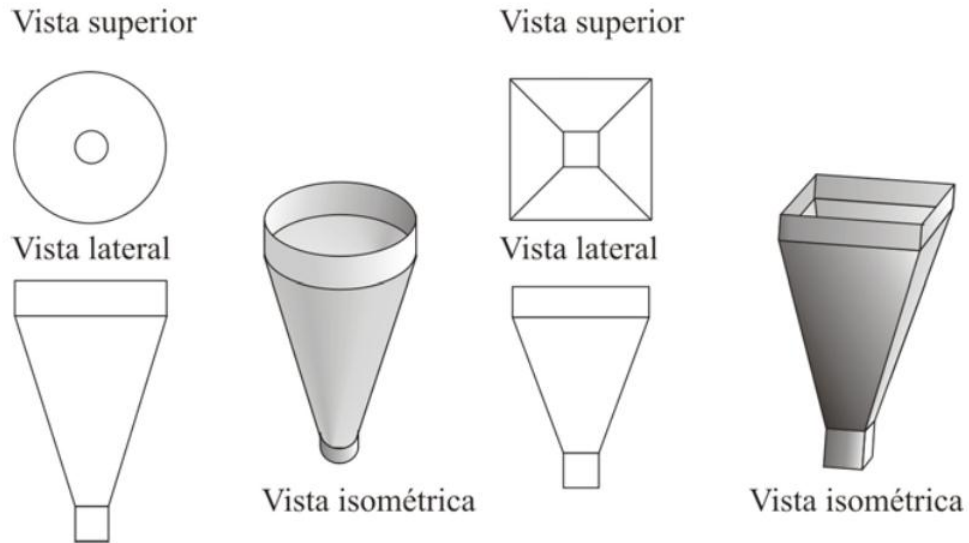
**Imagen 3.** Etapas de dosificación del tornillo extrusor (Beltran & Marcilla, 2009)

## 2.3 Partes principales de una extrusora

**2.3.1 Tolva:** La tolva es el depósito de materia prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación continua del extrusor. Debe tener dimensiones

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar estancamientos de material y paros en la producción.



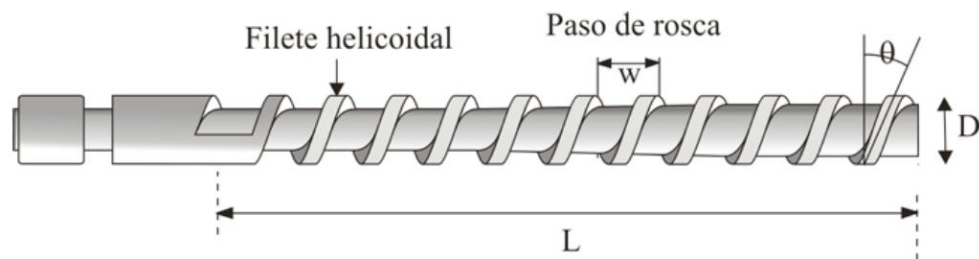
**Imagen 4.** Tipos de tolvas de transporte (Mariano, 2011).

**2.3.2 Barril o Cañón:** Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión. El barril conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. En pocas palabras es la carcasa que envuelve al tornillo. El barril debe tener una compatibilidad y resistencia al material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste. La dureza del cañón se consigue utilizando aceros de diferentes tipos y cuando es necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y la corrosión durante la operación del equipo (Alvarez, 2005).

**2.3.3 Tornillo extrusor:** tiene uno o dos “hilos” en espiral a lo largo de su eje que configuran un canal helicoidal de anchura constante. El diámetro medido hasta la parte externa del hilo es el mismo en toda la longitud para permitir un ajuste preciso

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en la camisa cilíndrica, con una distancia entre ellas apenas suficiente para dejarlo rotar. La “raíz” o núcleo es de diámetro variable, de manera que el canal en espiral varía en profundidad. En general, la profundidad del canal disminuye desde el extremo de alimentación hasta el extremo del dado, aunque existen modificaciones con fines especiales. Una consecuencia de que disminuya la profundidad del canal es el incremento de la presión a lo largo del extrusor y ésta es la que impulsa el material fundido a pasar a través del dado (Álvarez, 2005).

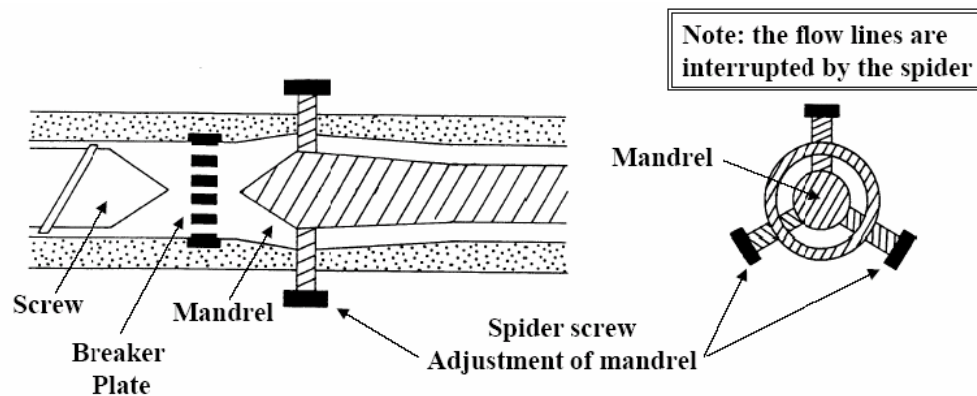


**Imagen 5.** Partes de un tornillo extrusor (Beltran & Marcilla, 2009)

**2.3.4 El Motor:** El motor de la extrusora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir: la alimentación de la resina, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y el bombeo a través del cabezal y la boquilla. Los motores incorporados en las líneas de extrusión son eléctricos y operan con voltajes de 220 y 440 Vac. Las extrusoras modernas emplean motores DC, ya que permiten un amplio rango de velocidades de giro, bajo nivel de ruido y un preciso control de la velocidad. Se recomienda que la potencia de diseño sea de 1 HP por cada 10 a 15 lb/h de caudal. Sin embargo, para las aplicaciones de alto requerimiento en el mezclado, esta relación puede llegar a ser de 1HP por cada 3.5 lb/h. La velocidad alcanzada por los motores resulta más elevada que la requerida por el tornillo. Las cajas reducen la velocidad hasta en un 20:1 (Beltran & Marcilla, 2009).

**2.3.5 Dado extrusor:** El dado tiene como función el obtener la forma deseada del material extruido, el dado esta calentado externamente y debe asegurar que el flujo de material fundido cambie de forma suavemente desde la configuración proveniente del tornillo hasta la forma deseada del producto final. Por ejemplo, para la producción

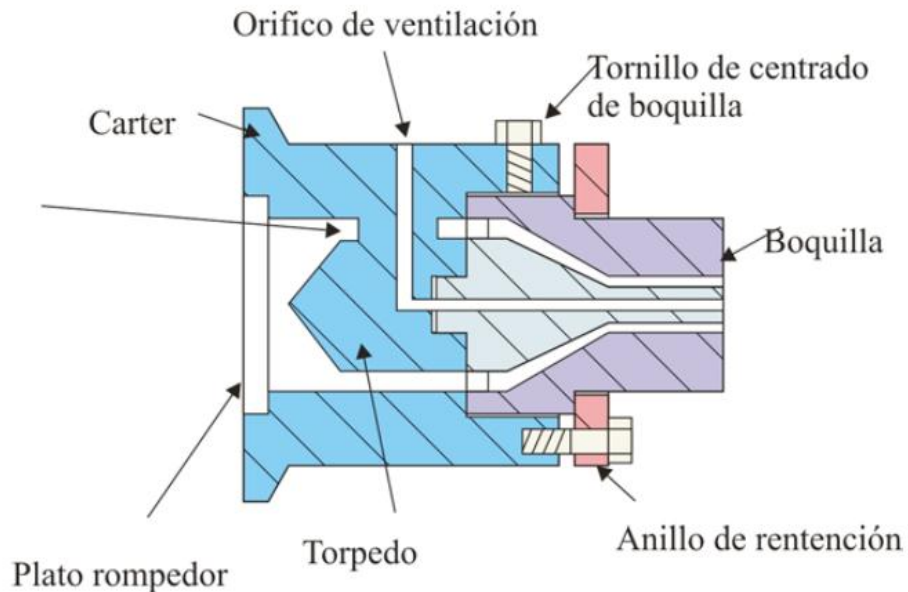
de barras se requiere un dado de forma troncocónica. Un dado típico para la producción de tubos se muestra en la Imagen 6, dispone de un núcleo central (torpedo), soportado por una serie de aletas. El material fluye a su alrededor en forma de corona circular, hasta alcanzar la boquilla, que debe estar suficientemente alejada de las aletas para que el flujo vuelva a ser uniforme, eliminándose la distorsión del mismo originada por éstas. En la boquilla el material asoma al exterior, enfriándose uniformemente (Alvarez, 2005).



**Imagen 6.** Dado para la producción de tubos (Alvarez, 2005).

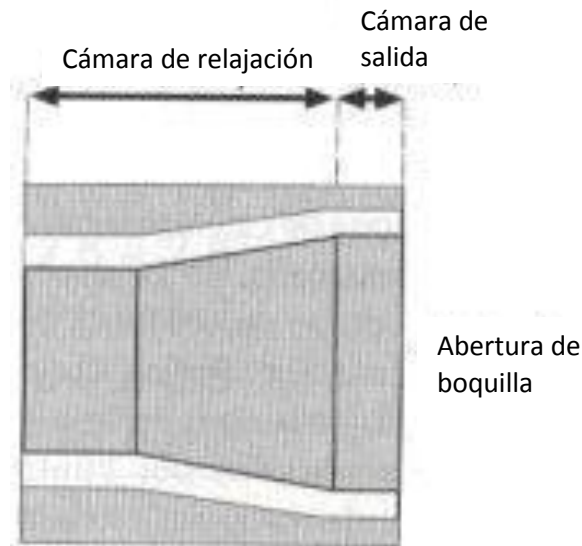
**2.3.6 El Cabezal:** El componente de la línea denominado cabezal, es el responsable de conformar o proporcionar la forma del extruido. De forma detallada, los principales componentes de un cabezal para la extrusión son: plato rompedor y filtros son los que constituyen el punto de transición entre la extrusora y el cabezal. A estos componentes les corresponde una parte importante de la calidad del material extruido. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral que el tornillo imparte; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del extruido partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Imagen 7.** Principales componentes del Cabezal (Beltran & Marcilla, 2009)

**2.3.7 Boquilla:** La boquilla de extrusión es el componente del cabezal encargado de la conformación final del extruido. Se debe velar por que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la circunferencia de la boquilla, de manera que se logre espesores uniformes. Los diseños actuales de boquillas presentan dos secciones claramente definidas. La primera de estas secciones es conocida como: cámara de relajación; mientras que la segunda puede ser llamada cámara de salida. La cámara de relajación de la boquilla tiene como propósito producir la desaceleración del material e incrementar el tiempo de residencia en la boquilla de manera tal que el polímero relaje los esfuerzos impartidos por el paso a través de los paquetes de filtros y el plato rompedor. La cámara de salida produce el formado del perfil deseado con las dimensiones requeridas. Los parámetros básicos para la especificación de una boquilla son: El diámetro y la abertura de salida, Adaptadores, los cuales Son requeridos cuando la boquilla no es diseñada específicamente para un determinado extrusor. Debido a que los fabricantes de extrusoras y boquillas no siempre son los mismos, el uso de adaptadores suele ser común.

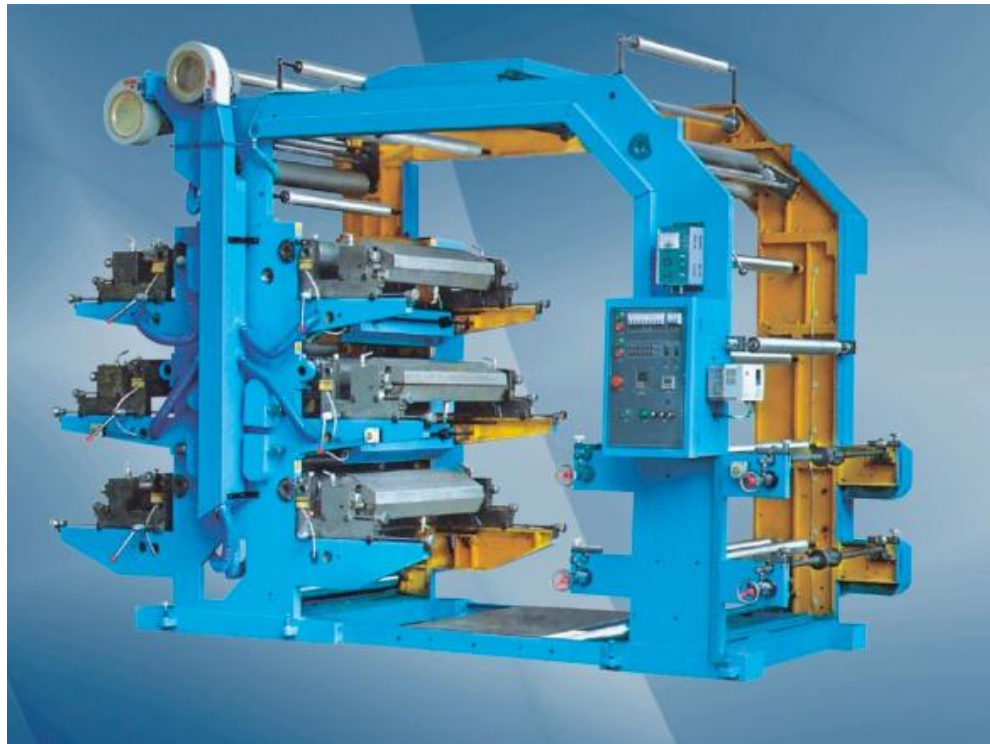


**Imagen 8.** Partes de la boquilla

## 2.4 Sistema de Impresión

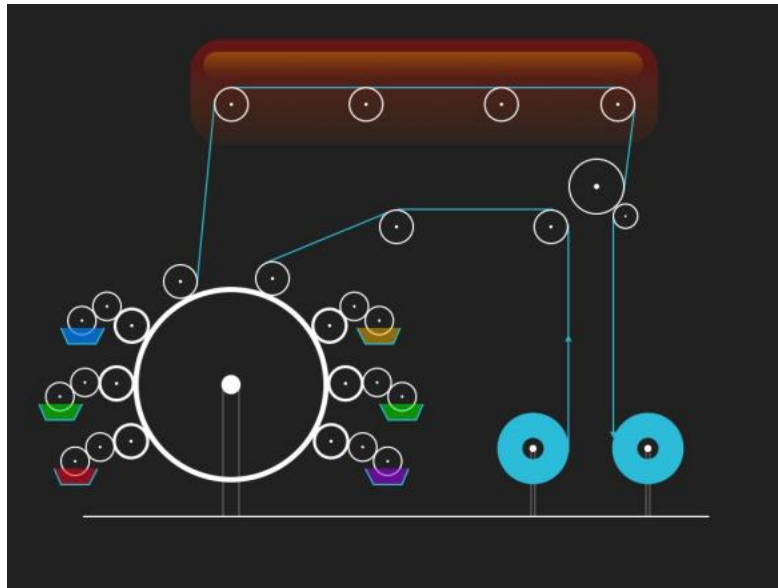
La flexografía es un sistema de impresión directo, cuya forma impresora funciona a partir de su relieve. Uno de los beneficios de este sistema es que puede imprimir con casi cualquier tipo de tinta, sobre casi cualquier soporte.

**2.4.1 Forma de impresión:** La forma de impresión tipo flexográfica está fabricadas con polímeros. Sus zonas impresoras se encuentran en relieve con respecto a sus zonas no impresoras. Es el sistema cuya forma impresora se parece más a un sello, literalmente. Habrá tantas formas impresoras como tintas se necesiten imprimir; una peculiaridad de este sistema es que en algunos casos se pueden necesitar dos cuerpos impresoras (con formas impresoras distintas cada uno) que impriman la misma tinta. Esto es porque el ajuste de la carga de tinta se realiza por cuerpo, y no por zona del impreso: se necesita, entonces, un cuerpo para las zonas con más plenos de dicho color (mayor carga de tinta) y otro cuerpo que imprima las zonas más finas (menos carga de tinta).

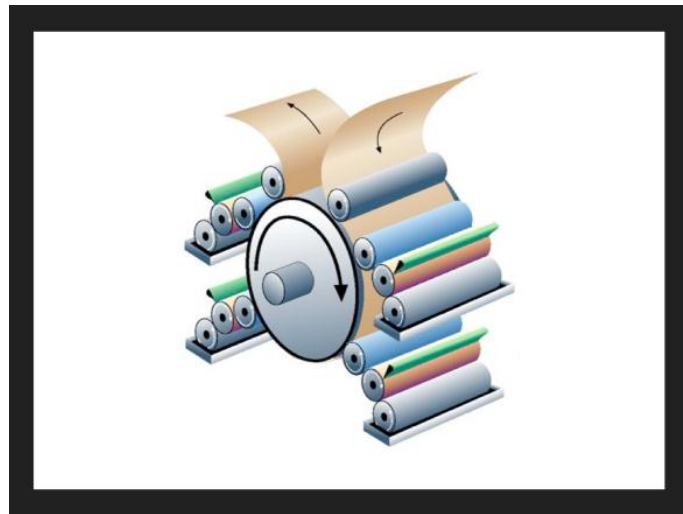


**Imagen 9.** Máquina de impresión (Mourelle, 2012)

**2.4.2 Máquina de impresión tipo tambor:** Este tipo de máquinas funciona con un tambor central sobre el que se apoya el soporte a imprimir, haciendo de base para mantener la presión que realizan las diferentes formas impresoras entintadas; esto permite que se pueda imprimir en soportes finos e inestables como el polietileno fino. Los cuerpos son satelitales con respecto a dicho tambor central. El beneficio de este tipo de máquinas es la gran estabilidad del soporte, que se mantiene firme contra el tambor central a lo largo de todo su recorrido, por cada uno de los diferentes cuerpos impresores.



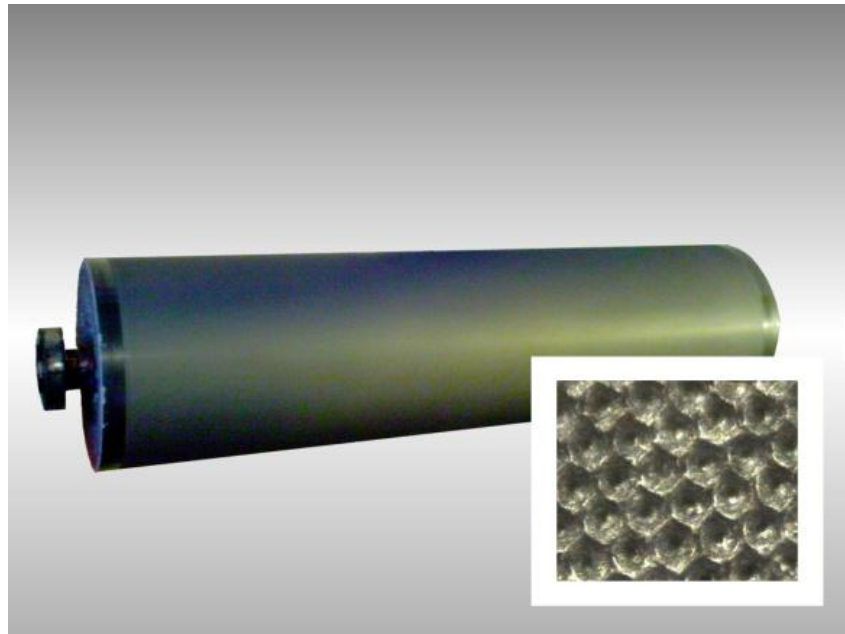
**Imagen 10.** Máquina de tambor de impresión central (Mourelle, 2012)



**Imagen 11.** Tambor (Mourelle, 2012)

**2.4.3 Sistema de entintado Anilox:** Muchas máquinas flexográficas utilizan el sistema de entintado conocido como *Anilox*. Se trata de un cilindro muy similar al que encontramos en la forma impresora del sistema Roto grabado/Huecograbado. El cilindro contiene alvéolos que se cargan de tinta, y luego este cilindro entinta el polímero (la forma impresora de flexo grafía).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Imagen 12.** Sistema tipo *anilox* (Mourelle, 2012)

## 2.5 Sellado

Una vez que las bobinas impresas o no impresas llegan a corte, lo primero que se hace es programar la selladora con los parámetros necesarios para darle la forma que se desee, bien sea una bolsa camiseta, tipo mercadillo o una simple lámina. Se ajustan el ancho del producto, el alto, las medidas del fuelle (sí procede), la altura y ancho de las asas (sí procede), etc.

Normalmente, se fabrican las bobinas de polietileno destinadas a bolsas de plástico con un ancho que es el doble o el triple del ancho real de la bolsa (en ocasiones incluso puede llegar a ser el cuádruple. De esta forma, con el doble de ancho de la bobina sólo se necesitará la mitad de los metros de material para hacer el mismo número de bolsas). La única tarea que habrá que realizar es dividir el material de forma longitudinal en dos, tres o cuatro partes.

A continuación, y sólo para las bolsas tipo camiseta y algunas de asa troquelada, se les hace un fuelle o dobladura, que en el caso de las bolsas camiseta dará lugar a las asas, y en el de las asas troqueladas aumentará el tamaño de la base de la bolsa.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Posteriormente, se procede a dividir el film de forma transversal mediante una cuchilla y unos cabezales que cortan y sueldan la base y la cabeza de las bolsas. La misma cortadora va formando paquetes de X bolsas (según clientes) y una vez completado cada paquete, se le extrae una parte de plástico a la bolsa dando forma al asa (troquelada) o a las asas (camiseta).

Los paquetes de bolsas son depositados sobre una cinta transportadora que acerca las bolsas a un operario. Éste las introduce en fundas y las ensaca en el correspondiente embalaje. Los fardos con las bolsas son pale tizados y pasan al almacén para ser posteriormente enviados a los clientes.

Durante todo el proceso de extrusión, impresión y sellado se siguen unos controles de calidad para comprobar que el producto es conforme con los deseos del cliente y con los estándares de calidad. En caso negativo, el producto es retirado de la cadena de producción y reciclado en su totalidad para volver a reutilizarlo en la fabricación de bolsas de basura.



**Imagen 13.** Selladora Plasmar S.A (foto tomada por los autores).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.6 Enfuellado

El proceso de enfuellado consiste en dar la forma a la lámina plástica con el objetivo de generar unos canales laterales tipo solapa para incrementar la resistencia de la bolsa luego del sellado.

El funcionamiento principal de la enfuelladora consta en un sistema de arrastre de la bobina por rodillos, donde hay dos rodillos haladores uno sobre el otro controlado por un motor de 5hp y un variador de velocidad adecuado para este caballaje. Antes de los rodillos haladores hay otros rodillos de giro libre para quitar las arrugas que tengan la bobina y se infla con aire comprimido el interior de la bobina y durante ese proceso hay unas paletas en forma de V para darle los tamaños deseados, luego llega a un rodillo embobinador controlado por un motor con encoder el cual dirige la tensión de la bobina (entre más grande el diámetro de la bobina, mayor es la tensión).



**Imagen 14.** Enfuelladora. Fuente: Plasmar S.A

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

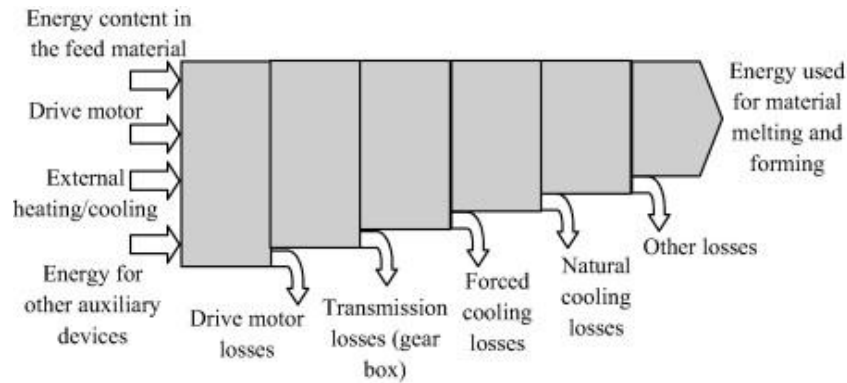
## 2.7 Demanda energética del extrusor y sus pérdidas

Hoy en día es de suma importancia la construcción e implementación de sistemas para la optimización de proceso y buscar como objetivo realizar un producto al menor costo posible. El consumo energético que se gasta en un proceso de fabricación suele ser muy elevado en industria donde su construcción es algo antigua, ya que anteriormente no se hacía un análisis detallado de calidad de la energía, de acuerdo con la cantidad y tipo de maquinaria que se involucran en el proceso.

En los procesos de transformación de polímeros, mediante los cuales utilizamos extrusoras e inyectoras, el consumo suele ser muy elevado por la cantidad de potencia que se consume en este tipo de maquinaria. Un ejemplo es el de una fábrica alemana en la que sólo el 4% de la energía primaria va al núcleo, y el proceso de calefacción, la fundición del polímero granulado dentro de la extrusora con el 21%, para el mecanizado de potencia (exclusivo del proceso central) y el 12% para el procesamiento de la infraestructura, incluyendo los sistemas neumáticos, máquinas de refrigeración, refrigeradores, calentadores, equipos y bombas. Las pérdidas de electricidad son alrededor del 63% de la demanda total. La empresa recibe su energía eléctrica desde el suministro centralizado eléctrico. Como resultado, la relación entre la entrada de energía primaria y la energía final de salida es bastante alta, lo que conduce a un grado muy bajo de la eficiencia de energía primaria para el procesamiento de plásticos en general (Schlüter & Rosano, 2016).

Normalmente, las extrusoras son suministradas con energía eléctrica para su funcionamiento, ya que esta energía es convertida en energía mecánica o térmica. Las pérdidas de energía se producen en las diferentes etapas del proceso, principalmente como pérdidas eléctricas. Un diagrama de flujo de energía típica de una extrusora se muestra en la Imagen 15. Por lo general, el motor eléctrico es el componente que consume la mayor parte energía suministrada a un extrusor. En un motor de corriente alterna, las pérdidas de energía eléctrica por lo general se producen en su núcleo, debido a las corrientes parásitas que se presentan.

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



**Imagen 15.** Diagrama de flujo energía típica del extrusor. Fuente: (Abeykoon et al., 2014)

La eficiencia energética máxima de un motor se puede lograr cuando se está ejecutando a la velocidad nominal, sin embargo, la mayoría de las extrusoras industriales operan a tasas conservadoras para evitar las fluctuaciones térmicas y rendimiento indeseables, y por lo tanto el logro de la velocidad nominal del motor puede no ser posible. Además, estos son cargas inductivas (ya que utilizan campos magnéticos) y la demanda de potencia total se relaciona con el factor de potencia como se da en la Ecuación 1 (Abeykoon et al., 2014).

$$P = \sqrt{3} * voltaje * corriente * \cos \varphi \quad \text{Ecuación 1.}$$

El factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) se refiere a la relación entre potencia activa y la potencia aparente, que realmente explica la forma una onda sinusoidal que es producida por el retraso o adelanto de la corriente. Para cargas puramente resistivas, la corriente consumida por la carga es una senoide que es exactamente en fase con la onda de tensión y por lo tanto el factor de potencia es uno, siendo este es el estado de funcionamiento de mayor eficiencia energética. Para cargas inductivas, la corriente se atrasa con respecto a la tensión en la fase, y por lo tanto el factor de potencia será menor que uno. Por lo tanto, la energía suministrada a la carga no va a utilizar de manera óptima. Cuando se fija una tensión de red, y la corriente se eleva se requiere que el proveedor de energía arregle este problema (es decir, una alta potencia aparente más de lo habitual) para compensar el desplazamiento de fase, se debe suministrar la misma potencia utilizable a la carga, con lo que se lleva la potencia activa de nuevo hasta el nivel requerido para hacer el trabajo mecánico deseada. El proveedor de energía debe construir infraestructura adicional para hacer frente a condiciones de un bajo factor de potencia y no pagar por potencias

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

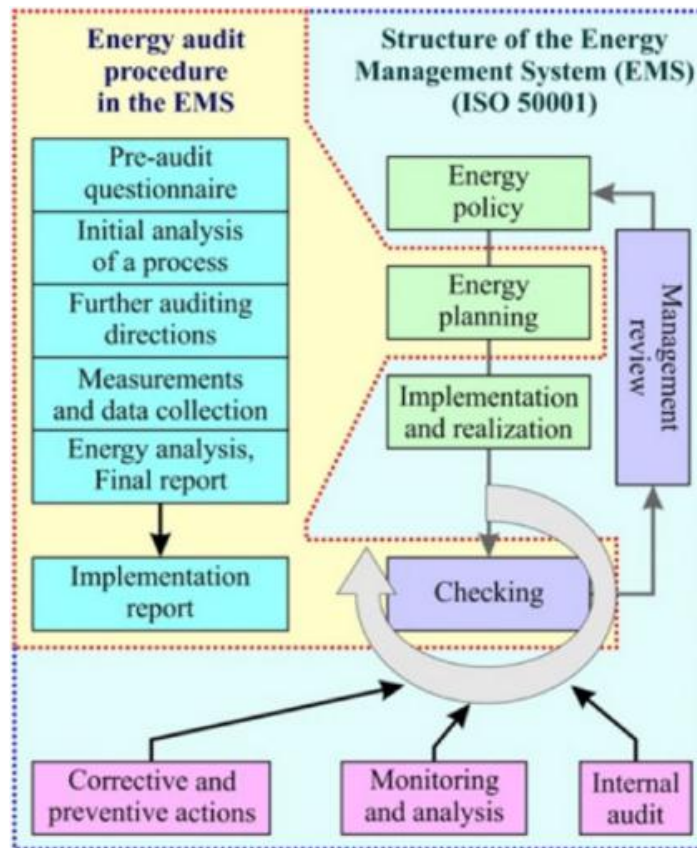
aparentes más elevadas. Debido a estos problemas, los proveedores de energía pueden cobrar costos adicionales a los usuarios industriales que operan con un factor de potencia por debajo de un cierto nivel (por ejemplo, por debajo de 0,85). Obviamente, los motores eléctricos, al ser cargas inductivas consumen potencia reactiva (a veces en cantidades significativas), lo cual puede provocar un bajo factor de potencia. Como resultado, las empresas de extrusión pueden tener un impacto significativo en su eficiencia energética como los motores eléctricos son consumidores de poder dominantes en plantas de extrusión. (Abeykoon et al., 2014)

## 2.8 Procedimiento para una auditoria energética

Una auditoria energética es una forma en la cual nos podemos dar cuenta que tan eficiente en nuestro proceso fabricación y darnos cuenta que tanto consumimos en la elaboración de un producto. Además de esto podemos saber que tan buen URE se está haciendo, pero cuál sería la forma más conveniente de hacerla. Los pasos básicos son:

- Cuestionario previo:** Lo primero que demos hacer es comenzar por el cuestionario previo a la auditoría (Imagen 16) que incluye la información básica acerca de los procesos de fábrica. Es importante formular un breve cuestionario informativo que es fácil de hacer para el personal de ingeniería que este orientado en materia de consumo energético. El cuestionario completado debería proporcionar información sobre el perfil de fabricación, materiales procesados, producto final y la escala de producción, dando a los auditores indicios de los posibles procesos de conversión de energía. Además, un cuestionario debe incluir el uso anual y los costos (basados en facturas mensuales) de electricidad, gas natural (u otro combustible), agua, gases tratados ( $N_2$ ,  $O_2$ , etc.) y finalmente, la información sobre la mayoría de las máquinas intensivas en consumo de energía. Sobre la base de esta información, el auditor debe tener una imagen general de la conversión de energía de la fábrica y el flujo que permite la identificación de áreas de posible mejora (Telukdarie et al., 2006 ).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Imagen 16.** Estructura de auditoría energética inscrita en la norma ISO 50001 de gestión energética. Fuente : (Kluczek, 2017).

- Análisis inicial del proceso:** En esta etapa se hace reunión con el equipo de ingeniería índole para la labor, en relación con el proceso de fabricación y los tipos de conversión de energía. El equipo de trabajo de la auditoría trabaja en conjunto con representantes de la empresa como gerentes de instalaciones, ingenieros de mantenimiento. Adicionalmente se trabaja con la información y la observación de los problemas discutidos previamente (Telukdarie, Buckley, & Koefoed, 2006).
- Direcciones de auditoria energética:** Mientras más información, referencias y comparaciones con sectores relacionados se obtengan, la auditoria energética toma más relevancia. A partir de este punto, todas las actividades van dirigidas hacia la planeación de una evaluación de la energía especificada y método a escoger, donde los auditores deciden acerca de los datos recopilar como documentos, medidas, características de la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

fabricación de equipos y materiales procesados, corrientes de energía generales (Kluczek, 2017).

- **Medición y toma de datos:** En esta etapa se realizan las mediciones y se recopilan todos los datos que se plantearon con anterioridad, para realizar un informe final y dar conclusiones y recomendaciones sobre las lecturas tomadas.
  
- **Reporte final:** En esta etapa se prepara un informe en base a la información recogida. En la mayoría de los casos esta es la parte más intensiva a la se requiere mucho tiempo de la auditoría energética. Todos los análisis, conclusiones que con lleven a los beneficios, deben ser documentados y explicados. Las conclusiones de una auditoría energética deben ser suficientes para llevar a cabo el siguiente paso en según la norma ISO 50001 (Kluczek, 2017).
  
- **Implementación:** La última etapa del procedimiento de auditoría incluye la implementación de un programa de ampliación de URE. Donde la empresa toma acciones frente a las recomendaciones propuestas por los auditores. Adicionalmente, mediante la repetición de la auditoría energética, la empresa puede mejorar el rendimiento de energía contantemente, como se requiere para obtener la certificación de sistemas de gestión de la energía, por ejemplo, la norma ISO 50001. A través de esta norma, las empresas son capaces de lograr reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y tienen efectos positivos sobre otras cuestiones ambientales y los costos de energía (Kluczek, 2017).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 3. METODOLOGIA

---

### 3.1 Análisis del proceso productivo

La línea de producción para bolsas plásticas de re empaque en plasmar S.A tiene 4 diferentes procesos para la producción de la bolsa (Imagen 17). Estos cuatro procesos son: extrusión, impresión, realización del dobléz de la bolsa (enfuellado) y sellado. Durante la extrusión el producto virgen es ingresado por una tolva y a través de resistencias eléctricas el plástico se funde, se moldea, se enfría y se enrolla hasta obtener bobinas de 50kg (Imagen 18). En el proceso de impresión, la bobina se le coloca la imagen del cliente con los colores y diseños solicitados por este. Ya impresa, la bobina de 50kg pasa por un proceso en el que se le da la horma, la que llevara la bolsa para antes de pasar por el sellado y corte de la bolsa dejándola lista para el embalaje y distribución. La máquina selladora tiene una capacidad para sellar y cortar 400 bolsas por minutos.



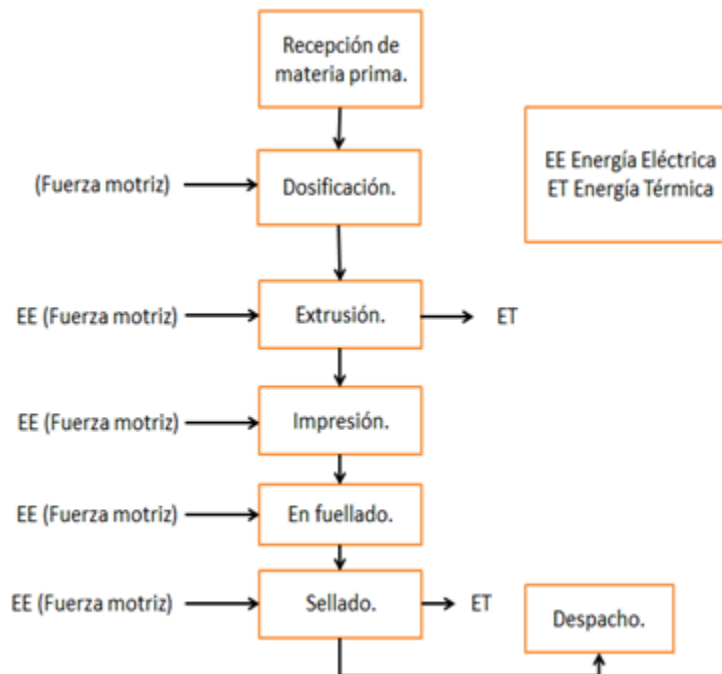
**Imagen 17.** Bolsa terminada. Fuente: autores

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Imagen 18.** Bobina impresa de 50kg. Fuente: autores.

En la Imagen 19 se muestra la elaboración del diagrama de flujo, el cual tiene como fin indicar cada una de las etapas del proceso productivo, iniciando desde la recepción de la materia prima hasta su despacho. El propósito de este diagrama es indicar los tipos de energía utilizados en cada una de las etapas del proceso.



**Imagen 19.** Diagrama de flujo del proceso. Fuente: autores

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3.2 Análisis del proceso técnico

Como se observa en el diagrama de flujo (Imagen 19), una vez se realiza la recepción de la materia prima, esta pasa por la dosificación gravimétrica la cual pesa el material y lo dosifican en función de la masa. Después pasa directo a la extrusora la cual tiene una alimentación a 220Vac y 440Vac, trabaja con una velocidad de 60 m/min y una capacidad de extrudir 2 bobinas por máquina durante un tiempo de operación de 1.0833 h por 2 bobinas.



**Imagen 20.** Extrusora. Fuente: Empresa Plasmar s.a

La siguiente etapa es impresión (Imagen 21), la cual cuenta con una maquina alimentada a 220Vac, con la capacidad de imprimir hasta 4 colores al tiempo durante su normal operación, a una velocidad promedio de 200 m/min produciendo una bobina en 0.75h.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



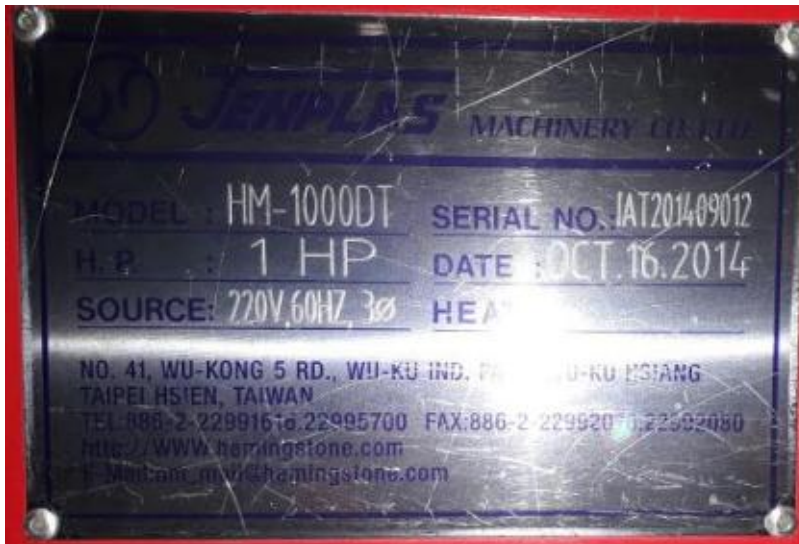
**Imagen 21.** Máquina Impresora de estampados. Fuente: Empresa Plasmar s.a

La etapa siguiente es el enfuellado, que es donde se le da un dobléz o quiebra la bolsa. Esta máquina trabaja con una alimentación de 220Vac y a una velocidad de 320 m/min, durante 0.366h por bobina. Por último, tenemos la selladora (imagen 22), la cual tiene una potencia de 1 HP en sus motores principales, y un motor trifásico alimentado a 220Vac como se observa en la placa técnica (Imagen 23), tiene una velocidad máxima de 440 bolsas/min durante 0.66h por cada 2 bobinas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



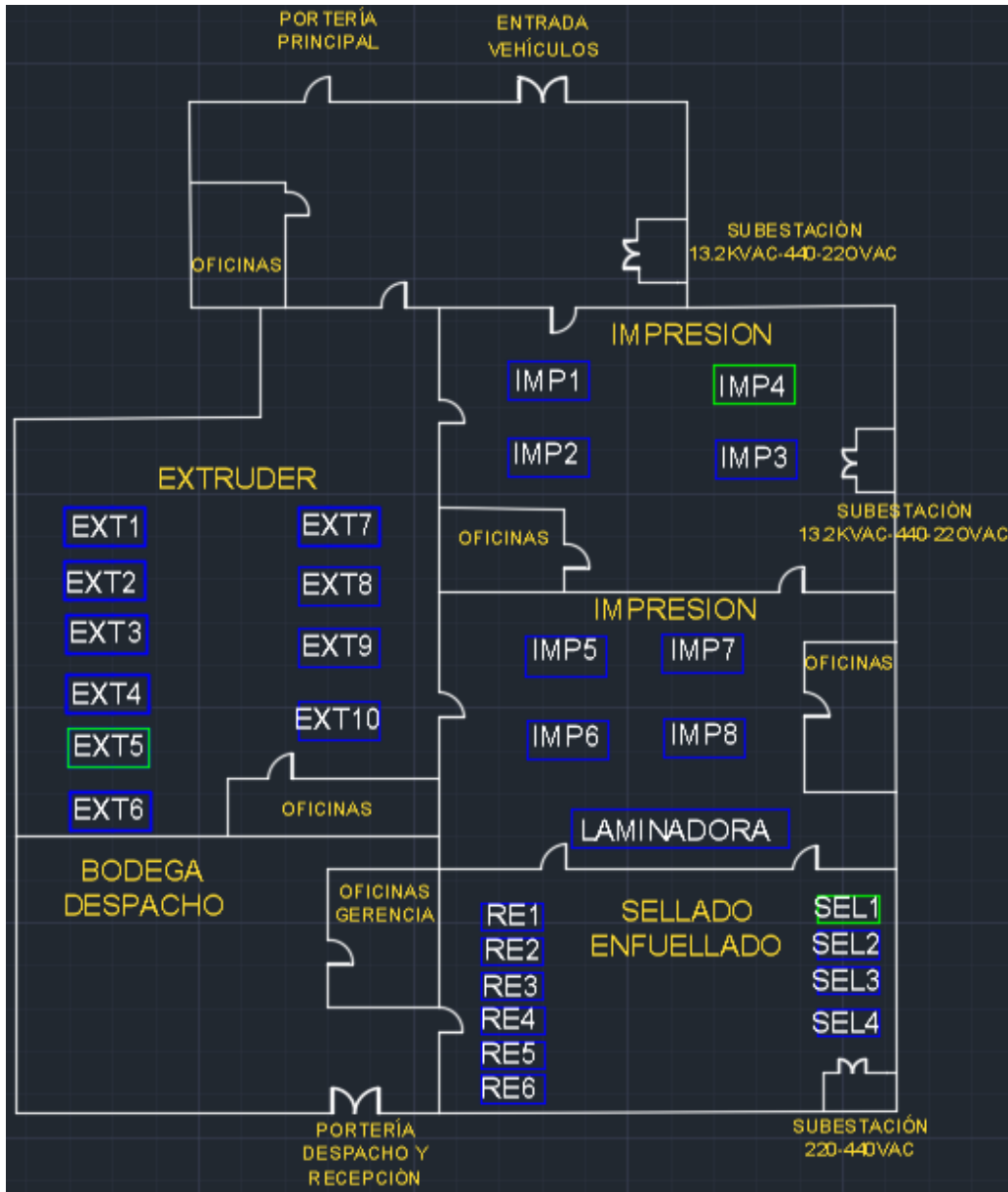
**Imagen 22.** Selladora de bolsas. Fuente: Empresa Plasmar s.a



**Imagen 23.** Placa técnica maquina selladora. Fuente: Plasmar s.a

### 3.3 Distribución de la planta

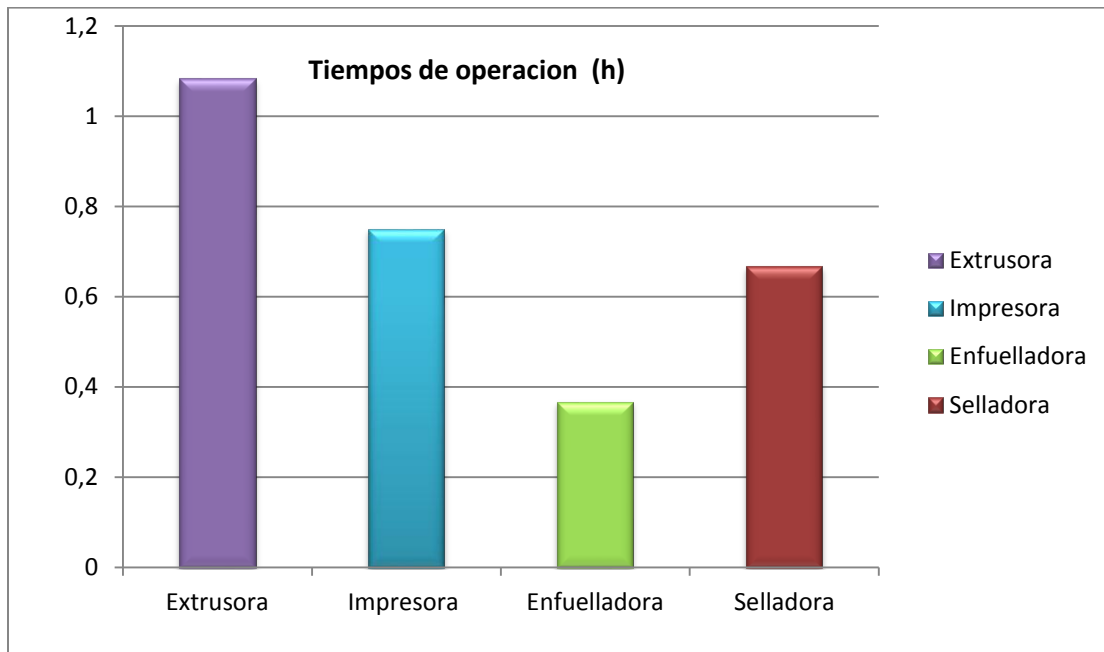
En la Imagen 24 se muestra un plano general de la planta Plasmar s. a, donde se hace un énfasis a la ubicación de la maquinaria y principales zonas de la empresa. Las partes encerradas con color verde son las líneas o máquinas a las cuales se le está realizando la auditoría energética. Como se puede observar, hay 3 subestaciones en las cuales se encuentran los cuadros de carga donde están las protecciones de las máquinas, a las cuales se toman las medidas aguas abajo del interruptor.



**Imagen 24.** Distribución planta. Fuente: autores

### 3.4 Tiempos de operación

En la Imagen 25 se observan los diferentes tiempos que necesita cada uno de los procesos de la operación (en horas) para una bobina. El proceso que más tiempo se consume durante la producción es la extrusión, la cual llega casi a triplicar el en fuellado, mientras que la impresión y el sellado tienen tiempos de operación muy similares. Los tiempos de operación son uno de los parámetros más importantes para los cálculos de consumo energético y su análisis en tiempo real.



**Imagen 25.** Tiempos de operación. Fuente: autores

### 3.5 Toma de datos en el área

Las mediciones fueron tomadas en cada línea de manera individual donde se muestran los respectivos voltajes que corren por cada fase, los tiempos de mediciones en cada fase, las respectivas corrientes halladas y las fechas cuando se tomaron. Para dichas mediciones fue utilizado una pinza amperimétrica marca Fluke 325 (Imagen 26), con un rango de corriente de 0-400(A).

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



Imagen 26. Pinza amperimétrica. Fuente: Autores

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados dados por la toma de datos nos llevan a un análisis de que tanta energía eléctrica se está consumiendo y que tan eficiente es el proceso de fabricación. Las medidas fueron tomadas desde el interruptor principal de cada (CCM), los cuales derivan la alimentación tanto para las maquinas como para su Iluminación.

### 4.1 Toma de datos en el área

Se realizó 3 series de mediciones en diferentes días. Los resultados se reportan en las tablas 1 a 3.

Máquina	Línea	Voltaje fase (v)	Corriente (A)	Tiempo medida (min)	Fecha
<b>Extrusora</b>	L1-L2	219	24,06	3	3/11/2016
	L2-L3	219	23,91	3	3/11/2016
	L1-L3	219	24,02	3	3/11/2016
	L1-L2	437	17,3	2	3/11/2016
	L2-L3	437	17,1	2	3/11/2016
	L1-L3	437	17,5	2	3/11/2016
<b>Impresora</b>	L1-L2	219	28,4	3	7/11/2016
	L2-L3	219	28,9	3	7/11/2016
	L1-L3	219	28,1	3	7/11/2016
<b>Enfuelladora</b>	L1-L2	218	9,23	5	20/10/2016
	L2-L3	218	9,14	5	20/10/2016
	L1-L3	218	9,21	5	20/10/2016
<b>Selladora</b>	L1-L2	218	19,07	3	3/10/2016
	L2-L3	218	19,77	3	3/10/2016
	L1-L3	218	18,98	3	3/10/2016

**Tabla 1.** Toma de datos de corriente y voltaje primer medida. Fuente: autores

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

Máquina	Línea	Voltaje fase (v)	Corriente (A)	Tiempo medida (min)	Fecha
Extrusora	L1-L2	219	24,15	5	7/11/2016
	L2-L3	219	24,09	5	7/11/2016
	L1-L3	219	24,21	5	7/11/2016
	L1-L2	437	16,94	5	7/11/2016
	L2-L3	437	17,4	5	7/11/2016
	L1-L3	437	17,05	5	7/11/2016
Impresora	L1-L2	219	28,05	4	11/11/2016
	L2-L3	219	28,9	4	11/11/2016
	L1-L3	219	28,56	4	11/11/2016
Enfuelladora	L1-L2	218	9,16	2	15/11/2016
	L2-L3	218	9,32	2	15/11/2016
	L1-L3	218	9,25	2	15/11/2016
Selladora	L1-L2	218	19,1	3	10/11/2016
	L2-L3	218	19,54	3	10/11/2016
	L1-L3	218	19,2	3	10/11/2016

**Tabla 2.** Toma de datos de corriente y voltaje segunda medida. Fuente: autores

Máquina	Línea	Voltaje fase (v)	Corriente (A)	Tiempo medida (min)	Fecha
Extrusora	L1-L2	219	24,16	5	7/11/2016
	L2-L3	219	24,7	5	7/11/2016
	L1-L3	219	24,46	5	7/11/2016
	L1-L2	437	17,8	5	7/11/2016
	L2-L3	437	18,1	5	7/11/2016
	L1-L3	437	17,7	5	7/11/2016
Impresora	L1-L2	219	28,12	4	11/11/2016
	L2-L3	219	28,35	4	11/11/2016
	L1-L3	219	28,09	4	11/11/2016
Enfuelladora	L1-L2	218	9,16	2	15/11/2016
	L2-L3	218	9,32	2	15/11/2016
	L1-L3	218	9,25	2	15/11/2016
Selladora	L1-L2	218	19,3	3	10/11/2016
	L2-L3	218	19,61	3	10/11/2016
	L1-L3	218	19,09	3	10/11/2016

**Tabla 3.** Toma de datos de corriente y voltaje tercer medida. Fuente: autores

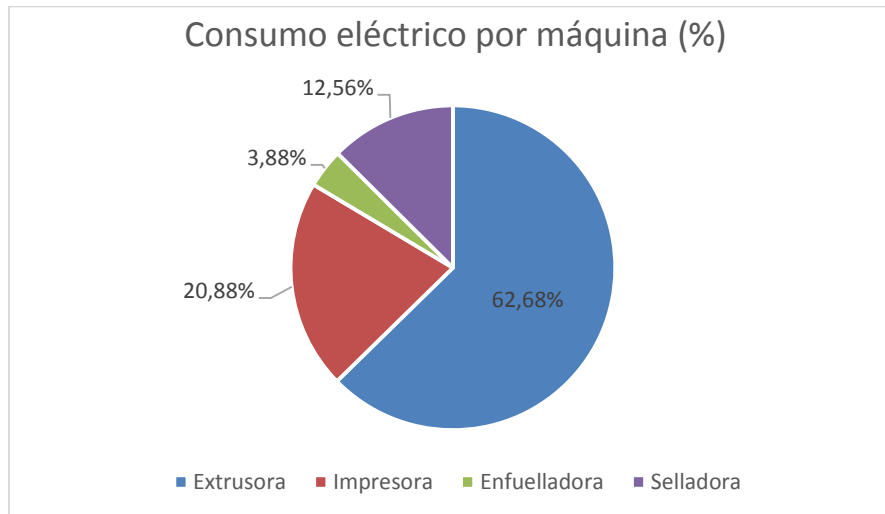
## 4.2 Cálculo del consumo energético

Los datos de potencia consumida se hallaron mediante la ecuación 1, asumiendo factor de potencia igual a 1 y se muestran en la tabla 4. El efecto de esta suposición en los resultados se discute más adelante en la sección 4.3.

Máquina	Voltaje de línea (V)	Corriente de línea (A)	Tiempo de operación (hr)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)
Extrusora	219	24.20	1.08	9.18	9.94
	437	17.43	1.08	13.19	14.29
Impresora	219	28.39	0.75	10.77	8.08
Enfuelladora	218	9.23	0.37	3.48	1.28
Selladora	218	19.30	0.67	7.29	4.86
TOTAL			3.95	43.91	38.45

**Tabla 4.** Datos promedio de energía eléctrica consumida. Fuente: autores

Las medidas tomadas en cada equipo nos arrojan un dato interesante, en el cual podemos observar el gran consumo eléctrico que genera la extrusora en comparación a las demás máquinas (Imagen 27)



**Imagen 27.** Consumo eléctrico por máquina. Fuente: autores

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 4.3 Comparación de resultados.

El consumo total de energía basada en los resultados de los cálculos obtenidos en la medición 1 (Tabla 4) se halló un total de 38.45 kWh para la producción de 50 kg de bolsas plásticas en todos sus procesos. Cabe anotar que el peso individual de cada bolsa equivale a 8.3g (imagen 28), y 1 kg de bolsas son 120.4 unidades. En definitiva, esto significa un consumo específico de 0.769 kWh/kg de bolsa.



**Imagen 28.** Peso individual de unidad de bolsa. Fuente: Propia

En una empresa de México DF se evaluaron 16 kg de bolsas y hallaron un consumo de 30.833 kWh (111 MJ). Cabe anotar que en ese caso 100 bolsas equivalen a 1 kg. Esto arroja un resultado de 1.927 kWh/kg, lo cual equivale un 50.5% mayor a lo que reporta este estudio para la empresa Plasmar s.a. (Revelo, 2010).

La norma europea UNE 53942 (Bolsas reutilizables de polietileno (PE) para el transporte de productos distribuidos al por menor. Requisitos particulares y métodos de ensayo) en el numeral 7.2.1 dice que el consumo de energía eléctrica en la fabricación de las bolsas, teniendo en cuenta las etapas de extrusión, confección e impresión, no debe superar la cifra de 0.55 kWh/kg (Asociación española de normalización y certificación, 2009).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tomando en cuenta la norma, se tiene que en Plasmар S.A, restando las etapas de sellado y enfuellado hay un consumo específico de 0.6628 kWh/kg, lo cual está un 20.5% por encima de la norma europea. Sin embargo, el factor de potencia se asumió como la unidad. Como se mencionó en el capítulo 2, este es un valor normalmente diferente a 1. Se puede verificar que con un factor de potencia de 0.85 (valor más realista) el consumo específico de Plasmар s.a. cumple la norma europea.

#### 4.4 Costo de la energía

Los valores hallados fueron basados en el costo del kWh proporcionado por empresas públicas de Medellín y se presentan en la tabla 5. Este se adjunta en el anexo 1 en unas tablas donde se muestran los costos individuales de la energía en pesos colombianos.

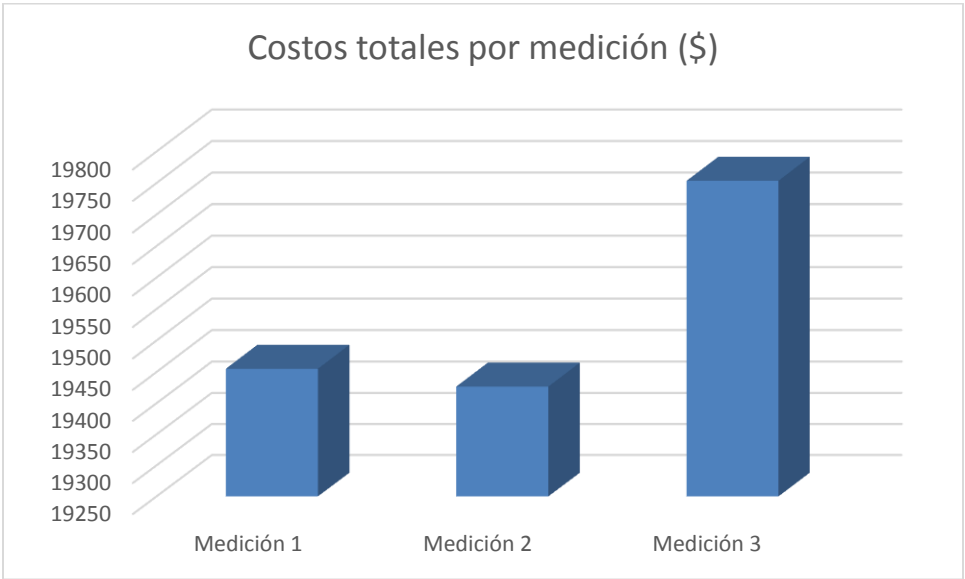
Máquina	Consumo (kWh)	Costo en pesos Colombianos (1 kWh = 593.65 COP)
Extrusora	8.47	5025.34
	12.17	7224.70
Impresora	6.88	4081.57
Enfuelladora	1.28	758.35
Selladora	4.14	2455.10
TOTAL	32.92	19545.05

**Tabla 5.** Costo de la energía consumida primera medida. Fuente: autores

Como podemos observar en la imagen 29, los costos de operación son más notables en la parte de extrusión, a la cual se recomienda tomar acciones para reducción de estos costos, aunque la empresa cumple con los estándares de consumo exigidos en la norma europea UNE 53942. Se pueden implementar diversos métodos para la reducción de estos costos energéticos, nombrados en el numeral 5.2 (Recomendaciones)



**Imagen 29.** Costo por operación. Fuente: autores



**Imagen 30.** Costo total por medición. Fuente: autores

Las mediciones realizadas en las (tablas 1, 2, 3) se observó que en el costo de una bobina 50kg, no hubo una diferencia notable, (imagen 30), ya que el proceso es continuo y no tiene variaciones notables dentro de su producción, exceptuando en la jornada nocturna donde el costo de la energía es más reducido.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### 5.1 Conclusiones

Se identificaron los puntos en los que más se consume energía durante el proceso, las cuales son la extrusora que consume el 63% y la impresora que consume el 21% de lo totalidad de la energía eléctrica suministrada al sistema. La extrusora sería el principal objetivo para buscar la reducción de consumo.

En las comparaciones energéticas realizadas en el numeral 4.3 (comparación de resultados) se observa que Plasmar S.A se encuentra bajo los requerimientos exigidos por la norma europea UNE 53942:2009, la cual exige un consumo máximo de 0.55 kWh/kg de bolsa. En comparación con la empresa ubicada en México D.F, Plasmar S.A tiene en un consumo específico energético por lo menos un 50% inferior.

Los costos en las 3 diferentes mediciones dieron resultados muy similares dando una diferencia no mayor a los 500 COP, lo indica una regularidad casi permanente durante los consumos energéticos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5.2 Recomendaciones

Para lograr una reducción considerable de consumo energético durante este proceso se recomienda el cambio de la iluminación de tipo halógeno por iluminación de tipo led, lo que equivale a un 2% aproximadamente menos por bobina.

Se han visto procesos similares de extrusión donde se realiza el enfuellado de la bolsa como una sola parte en el mismo proceso de fabricación. De realizar este procedimiento en Plasmar S.A se omitiría el proceso del enfuellado como independiente, lo cual reduce un 4% en consumo total por bobina y 0.36 horas de tiempo de producción.

En proceso de extrusión donde el consumo es mayor se recomienda la instalación de filtros pasa bajos en los motores de mayor carga, ya sea una reactancia (con o sin condensador) en línea tanto en la estrada como en salida, esto ayuda a la reducción armónica en el sistema equilibrando las cargas influyendo en el consumo energético total.

## 5.3 Trabajo a futuro

Se recomienda a Plasmar S.A realizar un análisis energético luego de realizar las mejoras propuestas y la comparación con el resultado anterior.

Realizar un análisis del porcentaje de armónicos que se encuentre en proceso para identificar las mayores perturbaciones que se encuentren en la red y tomar respectivas acciones correctivas para mejora continua.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6. REFERENCIAS

---

- Abeykoon, C., Kelly, A. L., Brown, E. C., Vera-sorroche, J., Coates, P. D., Harkin-jones, E., ... Price, M. (2014). Investigation of the process energy demand in polymer extrusion : A brief review and an experimental study. *Applied Energy*, *136*, 726–737.  
<http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.024>
- Álvarez, F. B. (2005). *Lección 10 - Plásticos -Extrusión* (Notas de clase curso “Polímeros”). Oviedo. Retrieved from <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.PLASTICOS.Extrusion.2005.pdf>
- Asociación española de normalización y certificación. (2009). *Norma UNE 53942: Bolsas Reutilizables de Polietileno (PE) para el transporte de productos distribuidos al por menos*.
- Beltran, M., & Marcilla, A. (2009). *Tema 4. Extrusión* (Notas de clase curso “Tecnología de polimeros”). Alicante.
- Kluczek, A. (2017). Energy audits in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, *142–4*(20), 3437–3453. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.123>
- Mourelle, L. (2012). Sistema de impresión flexográfica. Retrieved from <https://tecnologiagrafica1.wordpress.com/2012/05/15/sistema-de-impresion-flexografia/>
- Plasmar S.A. (n.d.). Retrieved from <http://www.plasmar.com.co/>
- Revelo, S. M. (2010). *Producción y Consumo Sustentable de Bolsas Plásticas*.
- Schlüter, B. A., & Rosano, M. B. (2016). A holistic approach to energy efficiency assessment in plastic processing. *Journal of Cleaner Production*, *118*, 19–28.  
<http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.037>
- Telukdarie, A., Buckley, C., & Koefoed, M. (2006). The importance of assessment tools in promoting cleaner production in the metal finishing industry. *Journal of Cleaner Production*, *14*(18), 1612–1621. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.009>

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

## 7. ANEXO

En cumplimiento de la Ley 142 de 1994, las resoluciones CREG 058/2000, 119/2007, 105/2009, 026/2010, 173/2011, 158-189-241/2015 y Ministerio de Minas y Energía 180574 de 2012

**Empresas Públicas de Medellín E.S.P. informa:**

Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado - febrero de 2017					
Información Monomía					
Activos B.T. / Conectados a nivel II		Propiedad EPM	Compartido	Propiedad Cliente	
<b>Tarifa Residencial</b>		<b>Nivel I - \$/kW h</b>			
<b>Estrato 1.</b>	Rango 0 - CS	202.26	194.69	186.98	
	Rango > CS				
<b>Estrato 2.</b>	Rango 0 - CS	455.88	438.47	421.07	
	Rango > CS				
<b>Estrato 3.</b>	Rango 0 - CS	252.83	243.36	233.72	
	Rango > CS				
<b>Estrato 4.</b>	Todo el consumo	455.88	438.47	421.07	
<b>Estrato 5 y 6.</b>	Todo el consumo	387.50	372.70	357.91	
		455.88	438.47	421.07	
		455.88	438.47	421.07	
		547.05	526.17	505.28	
<b>Tarifa No Residencial</b>		<b>Nivel I - \$/kW h</b>			
Industrial y Comercial		547.05	526.17	505.28	
ESPD*					
Oficial y Exentos de Contribución		501.46	482.32	463.18	
		455.88	438.47	421.07	
<b>Tarifa Areas Comunes</b>		<b>Nivel I - \$/kW h</b>			
Con contribución		547.05	526.17	505.28	
Sin contribución		455.88	438.47	421.07	
<b>Costo unitario:</b>		<b>CU<sub>v</sub> = G<sub>m,j</sub>+T<sub>m</sub>+D<sub>n,m</sub>+CV<sub>m,j</sub>+PR<sub>n, m,j</sub>+R<sub>m,j</sub></b>			<b>CU<sub>f</sub> = Cf<sub>m</sub></b>
<b>CU total</b>					
Costo compra: G <sub>m,i</sub>		455.88	438.47	421.07	
Cargo transporte STN: T <sub>m</sub>					
Cargo transporte SDL: D <sub>n,m</sub>		164.39	164.39	164.39	
Margen comercialización: CV <sub>m,i</sub>					
Costo G, T, pérdidas: PR <sub>n,m</sub>		30.51	30.51	30.51	
Restricciones: R <sub>m</sub>		172.65	155.25	137.84	
		39.22	39.22	39.22	
		31.32	31.32	31.32	
		17.78	17.78	17.78	

B.T.: Baja Tensión (Nivel 1, < 1 kV)

C<sub>f,m,j</sub> (\$/factura)

5,699

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

Información Horaria							
<b>Tarifa Horaria No Residencial</b>			<b>Nivel I - \$/kWh</b>				
Industrial y Comercial	Punta		553.17	532.28	511.40		
	Fuera de Punta		544.82	523.93	503.05		
Oficial y Exentos	Punta		460.97	443.57	426.16		
	Fuera de Punta		454.02	436.61	419.21		
<b>Costo unitario:</b>			$CUv = G_{m,i} + T_m + D_{n,m} + CV_{m,i} + PR_{n,m,i} + R_{m,i}$		$CUf = Cf_m$		
<b>Total CUnmt Punta</b>			<b>460.97</b>	<b>443.57</b>	<b>426.16</b>		
Costo compra: G <sub>m,i</sub>							
Cargo transporte STN: T <sub>m</sub>							
Cargo transporte SDL: D <sub>n,m</sub>			167.10	167.10	167.10		
Margen comercialización: CV <sub>m,i</sub>			34.01	34.01	34.01		
Costo G, T, pérdidas: PR <sub>n,m</sub>			172.65	155.25	137.84		
Restricciones: R <sub>m</sub>			39.22		39.22		
<b>Total CUnmt Fuera de Punta</b>			<b>32.34</b>	<b>39.22</b>	<b>32.34</b>		
Costo compra: G <sub>m,i</sub>				32.34			
Cargo transporte STN: T <sub>m</sub>			15.65		15.65		
Cargo transporte SDL: D <sub>n,m</sub>				15.65			
Margen comercialización: CV <sub>m,i</sub>			<b>454.02</b>		<b>419.21</b>		
Costo G, T, pérdidas: PR <sub>n,m</sub>				<b>436.61</b>			
Restricciones: R <sub>m</sub>			163.24		163.24		
			29.34	163.24	29.34		
			172.65	29.34	137.84		
				155.25			
			39.22		39.22		
			30.93	39.22	30.93		
			18.63	30.93	18.63		
				18.63			
		<b>Nivel II</b>		<b>Nivel III</b>		<b>Nivel IV</b>	
		<b>Punta</b>	<b>Fuera de Punta</b>	<b>Punta</b>	<b>Fuera de Punta</b>	<b>Punta</b>	<b>Fuera de Punta</b>
<b>Tarifa</b>							
Industrial y Comercial		447.81	440.73	431.68	367.92	337.21	330.29
Oficial y Exentos		373.18	367.27	359.73	306.60	281.00	275.24
<b>Costo</b>							
<b>CU CREG 158-2015</b>				<b>359.73</b>			
<b>Total CU</b>		<b>373.18</b>		<b>312.46</b>		<b>281.00</b>	
Costo compra: G <sub>m,i</sub>		<b>367.27</b>		<b>306.60</b>		<b>275.24</b>	
Cargo transporte STN: T <sub>m</sub>		167.10		167.10		167.10	
Cargo transporte SDL: D <sub>n,m</sub>		163.24	34.01	163.24	34.01	163.24	34.01
Margen comercialización: CV <sub>m,i</sub>		29.34	109.46	29.34	49.87	29.34	20.66
Costo G, T, pérdidas: PR <sub>n,m</sub>		109.46		49.87		20.66	
Restricciones: R <sub>m</sub>		39.22		39.22		39.22	
		39.22		39.22		39.22	
		7.74		6.62		4.37	
		7.38		6.30		4.15	
		15.65		15.65		15.65	
		18.63		18.63		18.63	
<b>CU Monomio</b>		<b>368.85</b>		<b>308.16</b>		<b>276.78</b>	

**Tarifa Monomía Horaria -Franjas Aplicadas:** Horas de punta: 9 a.m. - 12 m; 6 p.m - 9 p.m.  
 Horas fuera de punta: 12 p.m - 9 a.m.; 12 m - 6 p.m y 9 p.m - 12 p.m.

**Consumo Subsidiado Rango subsidiado**

Alturas superiores o iguales a 1.000 mts sobre el nivel del mar (0-130 kWh) Alturas inferiores 1.000 mts sobre el nivel del mar (0-173 kWh)

**ESPD\*** : E.S.P. Domiciliarios de acueducto y alcantarillado, consumo de energía en actividades operativas inherentes a la propia prestación del servicio.

