

**MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA  
EL SECTOR INDUSTRIAL EN COLOMBIA, APLICADO A UN CASO DE  
ESTUDIO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DEL PLÁSTICO**



**JUAN MARCEL CAICEDO CUCHIMBA  
VLADIMIR TOBAR ESCOBAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2016**

**MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA  
EL SECTOR INDUSTRIAL EN COLOMBIA, APLICADO A UN CASO DE  
ESTUDIO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DEL PLÁSTICO**



**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTAR  
POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**JUAN MARCEL CAICEDO CUCHIMBA**

**VLADIMIR TOBAR ESCOBAR**

**DIRECTOR: ING. JUAN FERNANDO FLOREZ MARULANDA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**POPAYÁN**

**2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Firma del director

\_\_\_\_\_

Firma del jurado

\_\_\_\_\_

Firma del jurado

Popayán, diciembre de 2016

## AGRADECIMIENTOS

Al pensar en quien deseábamos expresar nuestro agradecimiento, la lista fue interminable. Ante todo, agradecemos a Dios, que es nuestro pilar; a nuestras familias, a nuestros amigos, a nuestros compañeros y profesores. Que nos han aportado lo mejor de ellos en todo momento, siempre dispuestos a ayudar y servir de la mejor manera posible.

Agradecemos a las personas de la Universidad del Cauca, Mg. Juan Fernando Flórez, nuestro director de trabajo de grado, por su gran esfuerzo, dedicación y paciencia con nosotros; PhD. Carlos Rengifo, que además de ser evaluador y jurado de nuestro trabajo, siempre estuvo presto a ayudarnos; Mg. María Isabel García, más que nuestra jurado, una gran amiga, Mg. Ary Fernando Piso, Mg. Jeison Javier Tacué e Ing. Carlos Andrés Erazo, que nos guiaron con sus conocimientos y a la Dra. Alejandra Galvis, por sus acertadas sugerencias de nuestras ocurrencias, que lograron dar forma al texto.

Gracias también, a los PhD. Enrique Ciro Quispe y PhD. Yuri Uliánov López de la Universidad Autónoma de Occidente, que nos enfocaron en la investigación. Al Ing. José Enar Muñoz de la empresa GERS, que estuvo dispuesto a brindar su ayuda y apoyo tecnológico para realizar este trabajo.

A los Ing. Fredy Carmona Aguirre y Mg. Ricardo Alberto Gómez, de la Compañía Energética de Occidente y al Mg. Juan Manuel Segura de la Industria Licorera del Cauca, cuyos conocimientos y experiencias en sus respectivos campos, nos brindaron un valioso aporte en la elaboración del presente trabajo.

Y un recuerdo muy especial para el personal de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones: la administración, los laboratoristas, los trabajadores de las tiendas y papelerías, que nos ayudan en todo momento.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	1
LISTA DE TABLAS.....	3
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	4
1. GENERALIDADES .....	6
1.1. PANORAMA MUNDIAL SOBRE ENERGÍA .....	7
1.1.1. Proyección de la demanda energética en Colombia.....	8
1.1.2. Demanda energética de la industria del plástico en Colombia .....	9
1.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	10
1.2.1. Eficiencia Energética a nivel internacional.....	10
1.2.2. Eficiencia Energética en Colombia .....	12
1.3. LA INDUSTRIA EN LA ECONOMÍA MUNDIAL.....	14
1.3.1. La industria en la economía colombiana .....	14
1.3.2. La industria del plástico .....	16
1.3.3. Industria del plástico en Colombia .....	23
1.4. MARCO LEGAL COLOMBIANO .....	23
1.4.1. Ley 697 de 2001 .....	24
1.4.2. Ley 1715 de 2014.....	25
1.4.3. Legislación colombiana sobre uso racional y reciclaje del plástico....	26
2. ESPECIFICACIONES DE UN MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA INDUSTRIA.....	27
2.1. MODELOS DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN EL MUNDO .....	27
2.1.1. Modelos de gestión energética internacionales .....	27
2.1.2. Modelo de gestión energética colombiano .....	31
2.1.3. Modelo estratégico de innovación de la gestión energética .....	32
2.2. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA ISO 50001 .....	33
2.2.1. Sistemas de Gestión Energética.....	35
2.2.2. Planificación Energética del SGE .....	36
2.2.3. Implementación y Operación del SGE .....	39
2.2.4. Verificación del SGE .....	39
2.2.5. Revisión del SGE.....	40
2.3. ESTÁNDAR ISA-88.....	40
2.3.1. ISA-S88.01 .....	41
2.4. ESPECIFICACIONES DEL MODELO PROPUESTO .....	43
3. DISEÑO DE UN MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA INDUSTRIAL.....	46
3.1. DISEÑO DEL MEAEEI .....	46
3.2. DISEÑO DE UNA GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MEAEEI....	50
3.2.1. Paso 1: realice una revisión general de la organización.....	51
3.2.2. Paso 2: efectúe un levantamiento de información .....	51
3.2.3. Paso 3: revisión energética .....	54
3.2.4. Paso 4: construcción de la línea de base energética.....	57
3.2.5. Paso 5: establezca unos indicadores de desempeño energético .....	58

3.2.6.	Paso 6: objetivos y metas energéticas .....	58
3.2.7.	Paso 7: genere unos planes de acción.....	58
3.2.8.	Paso 8: realice la documentación.....	58
3.2.9.	Paso 9: implementación opcional de tecnologías.....	59
4.	APLICACIÓN DEL MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO .....	60
4.1.	REVISIÓN GENERAL DE EPO LTDA .....	60
4.2.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	61
4.2.1.	Procesos industriales.....	61
4.2.2.	Equipos industriales.....	63
4.2.3.	Instalaciones eléctricas y calidad de la energía.....	65
4.2.4.	Hábitos y prácticas industriales .....	66
4.3.	REVISIÓN ENERGÉTICA.....	66
4.3.1.	Diagnóstico energético .....	67
4.3.2.	Línea de consumo energético .....	73
4.3.3.	Indicadores energéticos.....	74
4.3.4.	Listado de acciones.....	75
4.4.	LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA .....	76
4.5.	INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO.....	77
4.6.	PLANES DE ACCIÓN .....	77
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
5.1.	CONCLUSIONES.....	83
5.2.	RECOMENDACIONES .....	84
5.3.	TRABAJOS FUTUROS .....	84
	REFERENCIAS.....	86
	ANEXOS .....	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efectos del calentamiento global. Fuente: [10].	6
Figura 2. Suministro energético primario total por regiones. Fuente: [67].	8
Figura 3. Proyección de la demanda sectorial de energía eléctrica en Colombia. Fuente: [65].	9
Figura 4. Consumo típico para el proceso de inyección de plásticos. Fuente: [25].	9
Figura 5. Potencial ahorro técnico y económico como resultado de mejoras en la eficiencia energética industrial. Fuente: [54].	12
Figura 6. Variación porcentual anual del PIB nacional por grandes ramas de actividad 2015. Fuente: [19].	15
Figura 7. Representación esquemática de un proceso de moldeo por inyección del plástico. Fuente: [11].	17
Figura 8. Proceso de moldeo por soplado. Fuente: [11].	18
Figura 9. Proceso de extrusión de polímeros con husillo sencillo. Fuente: [11].	19
Figura 10. Proceso de moldeo rotacional. Fuente: [11].	19
Figura 11. Tornillo de extrusión. Fuente: [11].	20
Figura 12. Cilindro y sistema de calefacción. Fuente: [11].	20
Figura 13. Demanda energética para procesos de inyección. Fuente: [40].	21
Figura 14. Consumos energéticos en zonas calentadas con tecnología convencional y por sistemas de alta eficiencia Nxheat. Fuente: [69].	22
Figura 15. Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa del planear. Fuente: [7].	29
Figura 16. Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa del hacer. Fuente: [7].	30
Figura 17. Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa de la verificación. Fuente: [7].	30
Figura 18. Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa del actuar. Fuente: [7].	31
Figura 19. Representación del modelo estratégico de innovación desarrollado por el PEN-SGIE. Fuente: [51].	33
Figura 20. Etapas de la implementación de un SGIE. Fuente: [51].	33
Figura 21. Diagrama del ciclo de mejora continua del modelo del SGE según NTC-ISO 50001. Fuente: [14].	34
Figura 22. Diagrama de relación entre los objetivos, las metas y los planes de acción. Fuente: [14].	36
Figura 23. Diagrama del proceso de Planificación Energética, según NTC-ISO 50001. Fuente: propia, junio de 2016.	37
Figura 24. Diagrama de actividades de la planificación según NTC-ISO 50001. Fuente: [14].	38
Figura 25. Diagrama conceptual del proceso de Planificación Energética. Fuente: mejorada de [14].	39
Figura 26. Diagrama conceptual del desempeño energético. Fuente: [14].	40
Figura 27. Resumen del estándar ISA-88. Fuente: [59].	40
Figura 28. Relación de los Modelos ISA-S88. Fuente: [59].	42
Figura 29. Diagrama de entradas y salidas del modelo de estudio y análisis de la EE propuesto. Fuente: propia, junio de 2016.	45

Figura 30. Ejes del Modelo de Estudio y Análisis de Eficiencia Energética para la Industria. Fuente: propia, septiembre de 2016. ....	47
Figura 31. Diagrama general del MEAEEI. Fuente: propia, julio de 2016. ....	49
Figura 32. Diagrama de flujo de información de la Revisión Energética de acuerdo al MEAEEI. Fuente: propia, septiembre de 2016. ....	50
Figura 33. Portafolio de algunos productos fabricados en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	61
Figura 34. Modelado del proceso de inyección, (a) PFD, (b) Modelo de proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.....	62
Figura 35. Modelado del proceso soplado, (a) PFD, (b) Modelo de proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.....	62
Figura 36. Modelado del proceso de molienda, (a) PFD, (b) Modelo de proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.....	63
Figura 37. Modelo físico de EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	63
Figura 38. Relación entre modelos ISA-S88.01 del mismo proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.....	65
Figura 39. Mapa de procesos energéticos de la planta de EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	67
Figura 40. Gráfica del consumo de energía activa en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	68
Figura 41. Consumos totales kWh en porcentaje a nivel de áreas y equipos principales. Fuente: propia, agosto de 2016.....	69
Figura 42. Diagrama de magnitud sobre duración de la curva de tolerancia ITIC. Fuente: propia, agosto 2016.....	71
Figura 43. Superposición de línea de consumo energético y línea de producción. Fuente: propia, agosto de 2016.....	74
Figura 44. Línea de base energética. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	76



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valoración de los modelos de gestión energética. Fuente: [7]. .....	29
Tabla 2. Listado de acciones sugeridas para aplicar en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	75
Tabla 3. Principales indicadores energéticos. Fuente: propia, octubre de 2016. ..	77
Tabla 4. Planes de acción dirigidos a equipos industriales. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	79
Tabla 5. Planes de acción dirigidos a instalaciones eléctricas y calidad de la energía. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	80
Tabla 6. Planes de acción dirigidos a procesos industriales. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	81
Tabla 7. Planes de acción dirigidos a hábitos y prácticas industriales. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	82

## LISTA DE ACRÓNIMOS

ACOPLÁSTICOS:	Asociación Colombiana de Industrias Plásticas.
AENOR:	Asociación Española de Normalización y Certificación.
AIE:	Agencia Internacional de Energía.
ANDESCO:	Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones.
ANDI:	Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.
ANSI:	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
BM:	Banco Mundial.
CEE	Consumos Energéticos Específicos
CEN:	Comité Europeo de Normalización.
CIA:	Agencia Central de Inteligencia, de los Estados Unidos.
CMNUCC:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
COLCIENCIAS:	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación.
CPE:	Calidad de Potencia Eléctrica suministrada.
EE:	Eficiencia Energética.
EPO:	Empaques Plásticos de Occidente, empresa del sector del plástico.
ESCO:	Empresas de Servicios Energéticos ( <i>Energy Services Companies</i> ).
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
FINDETER:	Financiera de Desarrollo Territorial.
FNCE:	Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia.
FNCER:	Fuentes No Convencionales de Energía Renovables en Colombia.
IDE:	Indicadores de Desempeño Energético.
IE:	Indicadores Energéticos.
IEC:	Comisión Electrotécnica Internacional.
ISO:	Organización Internacional de Normalización.
IVA:	Impuesto al Valor Agregado.
J:	Julios (por ejemplo, EJ ExaJulios).
LSPM	Motor de imán permanente línea de salida ( <i>Line Start Permanent Magnet</i> ).
MEAEEI:	Modelo de Estudio y Análisis de la Eficiencia Energética para la Industria.
MGIE:	Modelo de Gestión Integral de la Energía.
MINMINAS:	Ministerio de Minas y Energía.

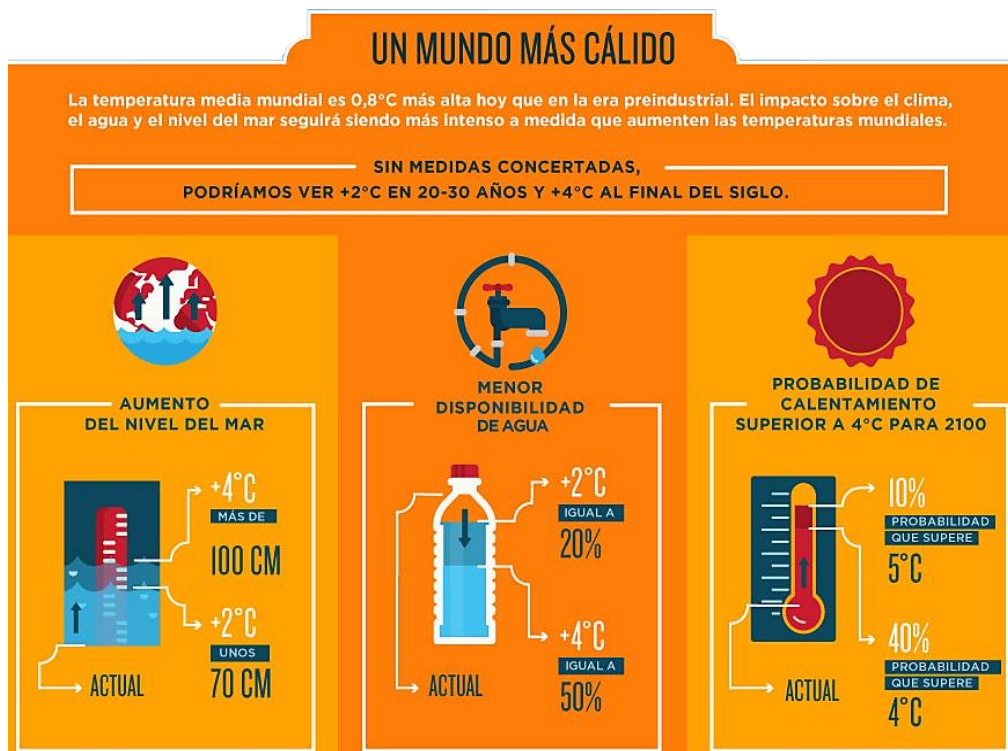
MTBF:	<i>Mean Time Between Failure</i> , en español, Tiempo Medio entre Fallas.
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos ( <i>National Electrical Manufacturers Association</i> )
ONU:	Organización de las Naciones Unidas.
ONUDI:	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
OPEP:	Organización de Países Exportadores de Petróleo.
pa:	Polímeros amorfos.
PHVA:	Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, conocido como ciclo de mejora continua.
PIB:	Producto Interno Bruto.
PIK:	Instituto Potsdam para la Investigación del Impacto Climático ( <i>Potsdam Institute for Climate Impact Research</i> ).
PROURE:	Programa del Uso Racional de la Energía.
PMSM:	motor sincrónico de imán permanente ( <i>Permanent Magnet Synchronous Motor</i> ).
RETIE:	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, creado por Minminas.
RETILAP:	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, creado por Minminas.
RMS:	<i>Root Mean Square</i> , en español, Raíz Cuadrada Media.
SGE:	Sistema de Gestión de la Energía.
SGEn:	Sistemas de Gestión de la Energía, en Colombia.
SGIE:	Sistema de Gestión Integral de la Energía.
SPT:	Sistema de Puesta a Tierra, establecido por el RETIE.
TEE:	Tecnologías de Eficiencia Energética.
UNE:	Una Norma Española (Normas UNE).
UPME:	Unidad de Planeación Minero Energética.
URE:	Uso Racional de la Energía.
VUF:	<i>Voltage Unbalance Factor</i> , en español, Factor de desbalance de tensiones.
VSD:	<i>Variable Speed Driver</i> , en español conocidos como variadores de velocidad.
WBG:	Grupo del Banco Mundial.
WEC:	Consejo Mundial de la Energía.
Wh:	Vatio hora (por ejemplo, PWh Petavatio hora).
WWF:	Fondo Mundial para la Naturaleza ( <i>World Wildlife Fund</i> ).
ZNI:	Zonas No Interconectadas.

## 1. GENERALIDADES

Ante la difícil situación energética que enfrenta el mundo y la reducción sustancial de los recursos naturales, resulta preocupante el futuro frente a la utilización e impacto ambiental, debido a la conversión de estos recursos en energía. El consumo creciente de energía eléctrica, ha generado una fuerte preocupación de los principales líderes mundiales, que buscan alternativas diferentes a la utilización de los tradicionales combustibles fósiles, los cuales producen altos niveles de agentes contaminantes que atentan contra la salud de los seres vivos del planeta. Según el BM en su informe, Cambio Climático: Panorama General, “durante los primeros ocho meses de 2015, el mundo ha sido testigo de más de 120 desastres relacionados con el clima. A partir del cambio de siglo (2000-2015), se han producido 14 de los 15 años más calurosos desde que se comenzaron los registros, hace más de 130 años” [30].

El aumento de la temperatura en nuestro planeta, ha sido motivo de estudio de muchas organizaciones, según PIK en su informe Bajemos la Temperatura: Enfrentar la Nueva Normalidad Climática, realizado para el BM, “el calentamiento global de cerca de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales, que representa un aumento en comparación con el calentamiento actual de 0,8°C, ya se ha consolidado en el sistema atmosférico de la Tierra debido a las emisiones de gases de efecto invernadero pasadas y previstas” [30]. Además, con el calentamiento mundial, las comunidades más pobres van a ser las más perjudicadas, ya que estará en juego su seguridad alimentaria, hídrica y energética (ver Figura 1) [66].

**Figura 1.** Efectos del calentamiento global. Fuente: [10].



Este cambio climático, ha hecho que la comunidad científica estudie cada una de las variables incidentes, resaltando que los altos niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera, afectan drásticamente el clima. Países líderes tuvieron la iniciativa de comprometerse a reducir sus niveles de contaminación en un 5,2%, sobre la media obtenida durante 1990-1995 para el periodo 2008-2012; esta iniciativa se fijó en la CMNUCC, celebrada en Kyoto en 1997 [53].

El futuro desarrollo del planeta está en juego, por lo tanto, es deber de los gobiernos buscar medidas que generen un desarrollo sostenible y ante los altos costos que se generan por este tipo de medidas, se deben buscar estrategias que sean eficientes y que les permita a los gobiernos incurrir en los menores costos posibles. Tal como dice Jim Yong Kim, presidente del WBG *“la energía es la pieza fundamental para impulsar la prosperidad y erradicar la pobreza extrema”* [39].

## **1.1. PANORAMA MUNDIAL SOBRE ENERGÍA**

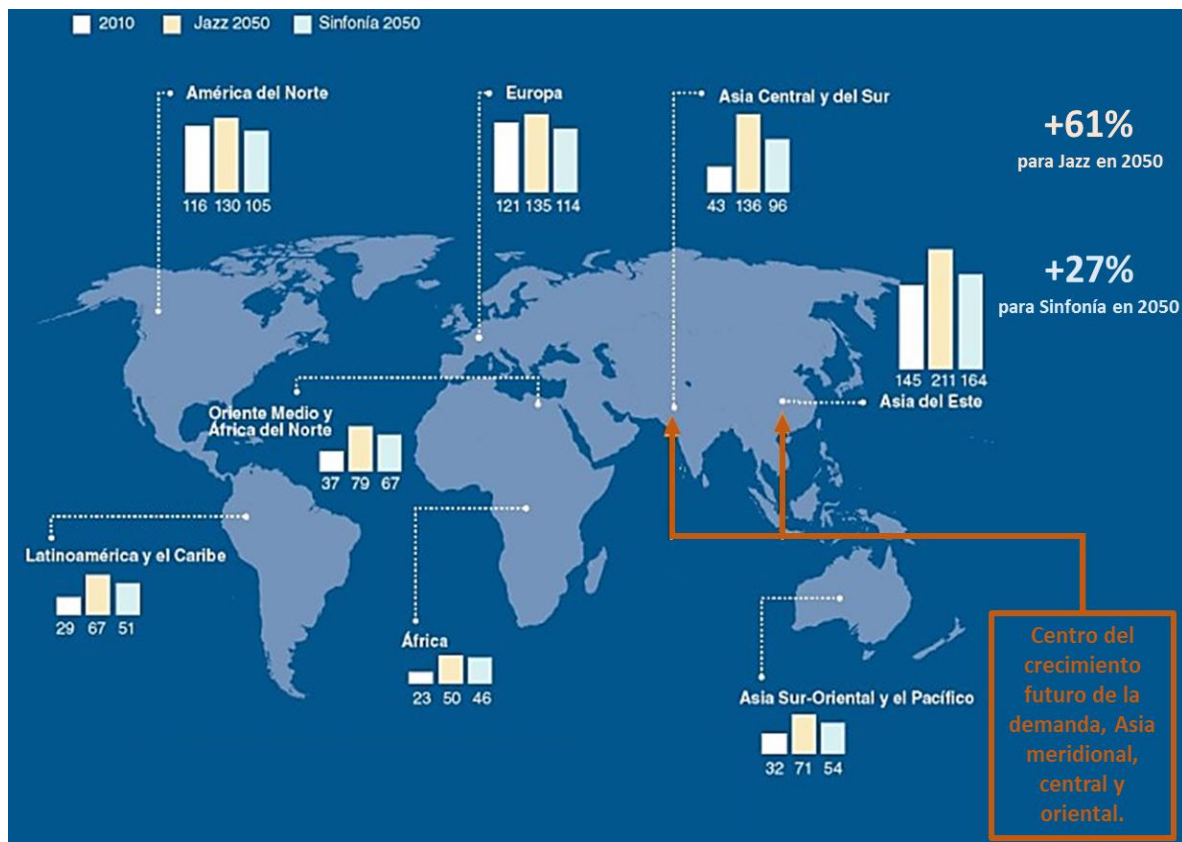
La energía es parte fundamental de la economía mundial, está involucrada en todos los procesos de transformación y creación de materia prima, pero ante el creciente aumento de la población mundial, resulta un reto para los gobiernos buscar estrategias eficientes de desarrollo sostenible y se debe garantizar su uso eficiente.

El WEC es una institución del sector energía, acreditada por la ONU, que representa a más de 3.000 organizaciones, en más de 100 países. Su objetivo es promover el suministro de energía y su uso sostenible, en beneficio de la población mundial [67].

En el informe Escenario Mundial de Energía: la composición de los futuros energéticos hasta 2050, del año 2013, se evalúa y proyecta la dirección del escenario energético mundial, para realizar este análisis se crearon dos escenarios extremos: el escenario *Jazz*, más descentralizado y con un enfoque energético; y el escenario *Symphony*, más "orquestado" y con un enfoque ambiental. Estos dos escenarios permiten la toma de decisiones soportadas en una herramienta basada en hechos. Los resultados difieren un poco dependiendo del escenario que se escoja, el WEC estima que el suministro total de energía primaria equivalente al consumo, aumentará a nivel mundial de 546 EJ (152 PWh) en 2010 a 879 EJ (144 PWh) en el escenario *Jazz*, y en 696 EJ (193 PWh) en el escenario *Symphony* en 2050. Esto corresponde a un aumento del 61% en *Jazz* y al 27% en *Symphony* (ver Figura 2).

Al hacer una comparación de 1990 a 2010, periodo que es más o menos la mitad del tiempo cubierto por este estudio, el consumo mundial de energía primaria total se elevó por aproximadamente un 45%; se espera que este consumo global de energía siga aumentando. El reto está en integrar la demanda energética mundial con la regional, siendo necesaria una solución al problema de suministro energético, para alcanzar el objetivo global de suministro energético sustentable, asequible y seguro para toda la población mundial [68].

**Figura 2.** Suministro energético primario total por regiones. Fuente: [67].

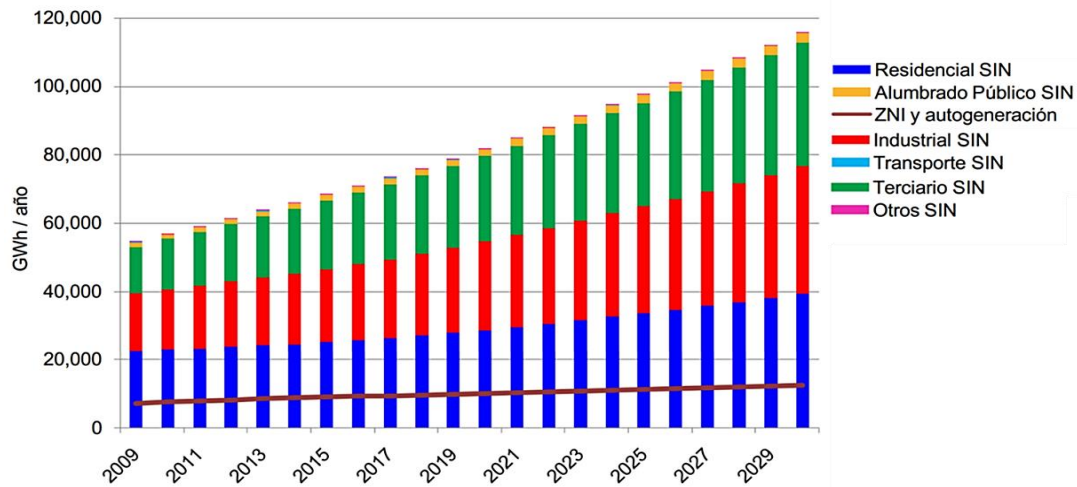


### 1.1.1. Proyección de la demanda energética en Colombia

Colombia no es ajena al cambio climático global, ni mucho menos al impacto económico que este acarrea, por tal motivo, desde los entes gubernamentales se busca desarrollar estrategias que mitiguen los estragos que éste causa en el medio ambiente y en consecuencia, en el suministro de energía eléctrica, ya que la población colombiana como en el resto del planeta, también está aumentando considerablemente, es necesario integrar este hecho como factor influyente en las proyecciones sobre el suministro energético nacional.

La energía interviene notablemente en el desarrollo económico de un país y el aumento de su consumo se ve afectado por la acción de variables sociales, ambientales y económicas. Según datos de la UPME, la energía ha representado aproximadamente el 8% del PIB colombiano. Además, UPME en su informe Proyección de Demanda de Energía en Colombia, con base en datos de la media de consumo histórico, factores de población y variables macroeconómicas, realiza una proyección del consumo energético colombiano anual y por sectores, hasta el año 2030, donde se resalta el periodo 2009-2020, que presenta un aumento promedio del 3,7%, siendo el sector terciario el que más crezca, con un 5,6%, seguido del sector industrial, con un 4% (ver Figura 3) [65].

**Figura 3.** Proyección de la demanda sectorial de energía eléctrica en Colombia. Fuente: [65].

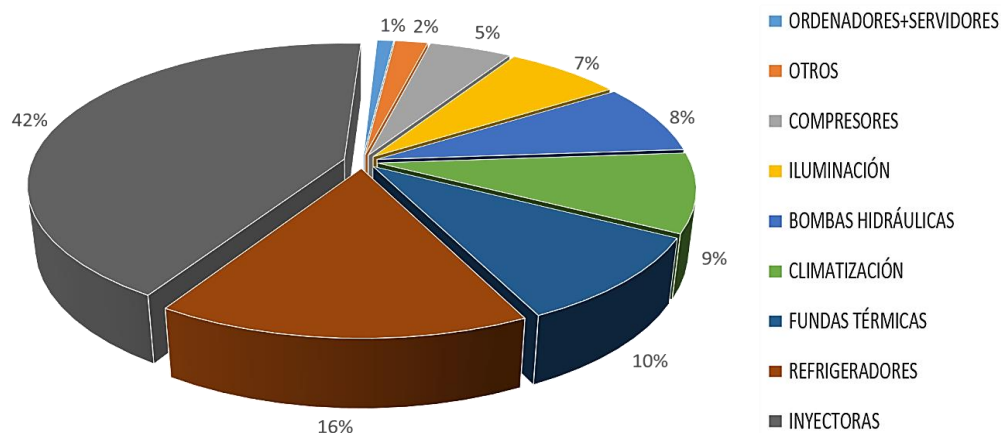


### 1.1.2. Demanda energética de la industria del plástico en Colombia

Observando la situación energética mundial y colombiana, dentro de la industria del plástico en Colombia, resulta determinante reducir el consumo energético; ya que este sector tiene un margen de utilidad alrededor del 10% y los costos de operación son mayores al resto de la industria manufacturera. La industria colombiana del plástico y caucho emplea 150 kWh/kg frente a 100 kWh/kg, por cada millón de pesos en producción bruta [49].

En esta industria, los mayores costos de producción están asociados a la materia prima y el consumo energético, estos representan aproximadamente 45% y 15% respectivamente, del costo total [18]. A raíz de esto se deben buscar los puntos críticos en donde se presenta el mayor consumo de energía, para proponer alternativas con las cuales se pueda reducir estos costos. Los mayores niveles de consumo energético de este sector, están en procesos de inyección (ver Figura 4).

**Figura 4.** Consumo típico para el proceso de inyección de plásticos. Fuente: [25].



## 1.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se comenzó a tratar este tema desde los años 80, a raíz de la crisis del petróleo de los años 70 y el incremento en los precios del crudo impulsada por la OPEP, estos hechos incentivaron la preocupación acerca de la cantidad de recursos disponibles en el planeta Tierra y el uso adecuado que se les debe dar. Lo que motivó la preocupación de las personas sobre la responsabilidad que se tiene con el cuidado del medio ambiente, lo cual consiste en darle un uso eficiente a los recursos naturales, dado que la quema indiscriminada de combustibles fósiles y la excesiva tala de árboles, por ejemplo, son dos de los principales factores que incrementan el deterioro del medio ambiente.

La EE es *“la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible, respetando la normatividad vigente sobre el medio ambiente y los recursos naturales renovables”* [15], buscando los medios que permitan mejorar la forma de aprovechar los recursos energéticos, que es algo imperativo para la humanidad ante el deterioro progresivo del medio ambiente. La EE tiene como objetivo, reducir el consumo de energía, pero manteniendo el mismo nivel de producción, involucrando el uso eficiente de la energía, de esta manera optimiza los procesos productivos y el empleo de la energía, utilizando los mismos o menos recursos, para producir más bienes y servicios, en conclusión, hacer más con menos.

Gran parte del éxito que puede tener la EE, se ve representado en las políticas gubernamentales que implementen los países a fin de incentivar, regular y promover las buenas prácticas en el sector energético, debido a esto, algunos países líderes en la gestión energética, tuvieron la iniciativa de dar solución a ésta problemática desde el 2005, *“países como Dinamarca, Noruega, España, Estados Unidos y China instituyeron guías y normas para la gestión energética, las cuales contribuyeron a que en el año 2011 se aprobara por la Organización Internacional de Normalización, la norma internacional ISO 50001: 2011, la cual posee una alineación con las normas ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 e ISO 22000: 2005”* [3]. NTC-ISO 50001 es una norma colombiana, por adopción idéntica de traducción de la norma ISO 50001:2011 [35].

### 1.2.1. Eficiencia Energética a nivel internacional

Todo el trabajo conjunto entre organizaciones y gobierno, ha permitido una atmósfera propicia para el desarrollo de estándares y normas, de carácter internacionales sobre gestión energética, de las cuales se puede encontrar:

1. ISO 50001:2011: desarrollada por la ISO. Actualmente es la norma más utilizada en el país para sistemas de gestión de energía.
2. UNE-EN 50001:2011: creada por la AENOR, organismo que desarrolla y difunde las normas técnicas que contribuyan a mejorar la competitividad y calidad de las empresas españolas. Esta norma anula a UNE-EN 16001:2010, que a su vez anula a UNE 216301:2007 [2].



3. DIN-EN ISO 50001:2011: norma del CEN, adaptación alemana de la ISO 50001, posteriormente sustituyó a la norma DIN-EN 16001. Norma para gestión energética, en el cual se especifican los requisitos para implementar un SGE<sub>n</sub>, que permita a las organizaciones desarrollar e implementar una política energética, identificar áreas significativas de consumo de energía y reducir el consumo de energía planeado [16].
4. ANSI/MSE 2000:2008: norma técnica sobre gestión energética utilizada en Estados Unidos y desarrollada por la ANSI, describe los elementos necesarios para un programa duradero de mejora continua en las organizaciones y contempla la administración de los recursos energéticos. Las organizaciones que implementan ANSI/MSE 2000:2008, reconocen que la gestión integral de la energía es clave para lograr el máximo beneficio en la mejora de los procesos, los cambios operativos y de mantenimiento simples y la tecnología avanzada para lograr la EE [4].
5. La norma ISO 50002:2014: definida como una herramienta para optimizar el desarrollo de las auditorías energéticas, haciendo un análisis sistemático del uso y consumo de energía, dentro de un definido alcance de la auditoría energética, con el fin de identificar, cuantificar e informar sobre las oportunidades para mejorar la EE [38].
6. Adicionalmente, existe la familia de normas de la Serie ISO 50000, enfocadas en la gestión energética. La componen ISO 50001, ISO 50002, ISO 50003, ISO 50004, ISO 50006 e ISO 50015 [1].

El objetivo de los gobiernos en cuanto a EE, es lograr que las organizaciones públicas y privadas alcancen mejoras en el uso de los recursos energéticos, permitiendo mitigar el impacto negativo sobre el medio ambiente e incurriendo en el menor costo posible, para ello, en la literatura se encuentran dos interesantes paradigmas, conocidos como *Botton-up* y *Top-down*. El primero plantea que es posible una reducción significativa de las emisiones, promoviendo un uso eficiente de los recursos energéticos, por su parte, el segundo propone una intervención directa limitando o reduciendo la utilización de estos recursos, a través de tasas energéticas y restricciones para su utilización [15].

En el documento Informe sobre el Desarrollo Industrial 2011, Eficiencia energética industrial para la creación sostenible de riqueza, de la ONUDI, se puede concluir que incrementar *“la eficiencia energética industrial es una de las vías más prometedoras para el desarrollo industrial sostenible a nivel mundial; especialmente en los países en desarrollo”* [54]. Además, muestra indicios de la relación directa que existe entre las mejoras de la EE y el fortalecimiento de la productividad, especialmente en la pequeña y mediana empresa (ver Figura 5).

**Figura 5.** Potencial ahorro técnico y económico como resultado de mejoras en la EE industrial. Fuente: [54].

Sector y producto	Potencial de mejora técnica (porcentaje)		Potencial de ahorros totales (exajulios por años)		Proporción de los costos de energía <sup>a</sup> (porcentaje)		Potencial de ahorro de dióxido de carbono (toneladas de dióxido de carbono por año)	Proporción de las emisiones actuales (porcentaje)
	Países desarrollados	Países en desarrollo	Países desarrollados	Países en desarrollo	Países desarrollados	Países en desarrollo		
<b>Sectores de proceso</b>								
Refinerías de petróleo	10–15	70	0,7	4,6	50–60			
Químico y petroquímico			0,5	1,8			300	20
Craqueo por vapor (con exclusión de materias primas)	20–25	25–30	0,4	0,3	50–85			
Amoniaco	11	25	0,1	1,3				
Metanol	9	14	0	0,1				
<b>Minerales no ferrosos</b>								
Producción de alúmina	35	50	0,1	0,5		30	45 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>
Fundiciones de aluminio	5–10	5	0,1	0,2	35–40	35–50		
Otra producción de aluminio	5–10	5	0,1	0,2	35–40	35–50		
Fundiciones de cobre		45–50	0	0,1				
Cinc	16	46	0	0,1				
Hierro y acero	10	30	0,7	5,4	10–20	30	350	14
<b>Minerales no metálicos</b>								
Cemento	20	25	0,4	1,8	25–30	50	450	23
Cal					40			
Vidrio	30–35	40	0,4	0,2		7–20		
Cerámica						30–50		
<b>Sectores mixtos</b>								
Pulpa y papel	25	20	1,3	0,3		15–35	80	20
Textil						5–25		
Hilados	10	20	0,1	0,3				
Tejidos					5–10	10–15		
Alimentos y bebidas	25	40	0,7	1,4		1–10		
Otros sectores	10–15	25–30	2,5	8,7				
<b>Total</b>	15	30–35	7,6	25,1				
Total con exclusión de materias primas	15–20	30–35					12 <sup>c</sup>	

### 1.2.2. Eficiencia Energética en Colombia

Colombia tiene como prioridad continuar desarrollando métodos eficientes en el uso de recursos energéticos, con el fin de evitar casos fortuitos como el apagón del año 1992, bajo el mandato de César Gaviria. En ese año se presentó un fuerte fenómeno del niño, que provocó sequías, logrando disminuir considerablemente el nivel de los embalses de las generadoras hidroeléctricas. Todos estos factores climáticos, sumados a serios problemas en la infraestructura eléctrica, lo provocaron. A continuación, se muestran los principales hechos que han motivado el estudio de EE en Colombia:

- Durante 1990-1994, se inició un proceso de apertura económica, reduciendo la carga arancelaria para bienes que no eran producidos en Colombia, a fin de producir una reconversión industrial; produciendo una desprotección de la

industria nacional, salvo excepciones en sectores como: prendas de vestir (47,5%), calzado (46,3%), tabaco (42,5%) y plásticos (40,3%). Para la industria colombiana fue un cambio fuerte y no estaba preparada, ya que debía afrontar un mercado globalizado que exige bajos costos de producción, dejando ver la mala estructura del modelo aplicado [31].

- En 1994 las generadoras de energía pasaron de públicas a privadas, mediante la Ley Eléctrica, Ley 143 de 1994, se estableció *“el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética”* [44].
- A inicios del 2016, Colombia estuvo a puertas de afrontar otro racionamiento eléctrico, por los estragos que causó el fenómeno del niño. Los embalses generadores de energía hidroeléctrica estuvieron en sus niveles históricos más bajos, alrededor del 30% de su capacidad, provocando que el presidente de turno Juan Manuel Santos, liderara una campaña nacional promoviendo el uso eficiente de los recursos energéticos, con una meta de ahorro diario promedio del 5%. Incentivando el ahorro y castigando el derroche a los usuarios que estuvieran por encima del promedio de los últimos meses [22].

Estos son algunos de los principales hechos, que han propiciado el estudio de la EE en Colombia. Los primeros estudios se remontan al año 1990 en la ciudad de Medellín, en donde los investigadores del Instituto de Energía y Termodinámica, analizaron el sector productivo en cuestiones de EE [15], posteriormente en el año 2000 en Barranquilla, los investigadores de la Universidad del Atlántico aplicaron el modelo de mejora continua en algunas empresas de sector industrial [12], logrando resultados satisfactorios.

Durante 2006-2007, bajo el Programa de Gestión Integral de la Energía para el Sector Productivo Nacional, desarrollado por investigadores de la Universidad del Atlántico y de la Universidad Autónoma de Occidente, se propuso un modelo de gestión energética llamado MGIE, trabajo financiado por Minminas y Colciencias. Este modelo se adopta como el referente en estudios posteriores de los temas relacionados con EE, consolidándose como la base del análisis y desarrollo de normativas para el sector eléctrico colombiano [6].

En el año 2013, la compañía alemana Henkel, que hace presencia en Colombia hace 28 años, se convierte en la primer empresa que logra certificarse bajo los estándares de la norma ISO 50001, otorgada por DQS Holding GmbH, debido a los esfuerzos realizados en materia de mejorar y optimizar el consumo de recursos energéticos, reducir el gasto energético en sus procesos de producción e implementar una política energética eficiente. Henkel, logró reducir sus niveles de energía utilizada en un 24% para cada tonelada de producto fabricado, gracias al esfuerzo continuo que realizó durante 6 años seguidos, en búsqueda de una política energética eficiente, dentro del marco del programa interno denominado, Estrategia de Sostenibilidad Corporativa 2030 [33].

Al momento de la realización del presente trabajo, Colombia ha generado un marco normativo propicio para fomentar el desarrollo de EE, principalmente en materia de sistemas de gestión, mecanismos de financiación y de proyectos, tal como se mostró en el Seminario de Eficiencia Energética organizado por Minminas, Andesco, UPME y Findeter, en Abril de 2016, en el cual se dio a conocer la situación de Colombia frente a la política pública de EE 2016-2020. Donde el Viceministro de Energía, Carlos Erazo resaltó, *“cuando uno piensa en eficiencia energética puede identificar beneficios directos, como un menor costo por el pago de la energía y la posibilidad de incrementar la productividad. Se trata de hacer más con un menor consumo de energía. Esto tiene un impacto positivo en la competitividad y el medio ambiente, que cuando se cuantifica deja ver que es un buen negocio”* [43].

### **1.3. LA INDUSTRIA EN LA ECONOMÍA MUNDIAL**

En la segunda mitad del siglo XVIII, se presentó en Inglaterra un acontecimiento determinante en el rumbo de la actividad económica mundial, debido a que ocurrió el mayor cambio en la historia de la humanidad desde el periodo neolítico, estas transformaciones generaron un vuelco en la economía que pasó de ser netamente agrícola y rural, a una economía urbana, mecanizada y sustentada en desarrollos tecnológicos. La revolución industrial propició la reducción en los tiempos de fabricación de los productos, relegando el trabajo manual a un sector muy particular y exclusivo de la economía. Los desarrollos tecnológicos en el transporte y el descubrimiento de la energía eléctrica, aceleraron la expansión de la revolución industrial, llevando a la segmentación de la sociedad, como se observa hasta la actualidad; apareciendo nuevas clases sociales como el proletariado o clase obrera y la burguesía, conformada por quienes poseían los medios de producción [42].

La industria es determinante en la economía mundial, ha generado nuevas políticas económicas que controlan los estados en casi todo el planeta, desde el Tratado de Utrecht en 1713, con el cual se liberalizó el comercio internacional de Inglaterra y otros países de Europa con la América Española, hecho que consolidó el concepto de propiedad y la estrategia de globalización mediante el abaratamiento de los productos fabricados en masa y el empleo de maquinaria [64]. Considerando a la industria como uno de los pilares en el desarrollo y crecimiento de la economía mundial, su innovación en la productividad y la mejora de procesos, suele estar asociada a desarrollos tecnológicos que dinamizan la economía y a su vez, generan nuevos mercados pero extinguen otros que no se adaptan a estas transformaciones. El hecho de que el mercado exija a la industria ser competitiva en calidad y precios, impone que se desarrollen métodos, modelos, estándares, entre otros, que le permitan seguir a flote en un mercado globalizado, que involucra el desarrollo tecnológico y las mejores prácticas de producción.

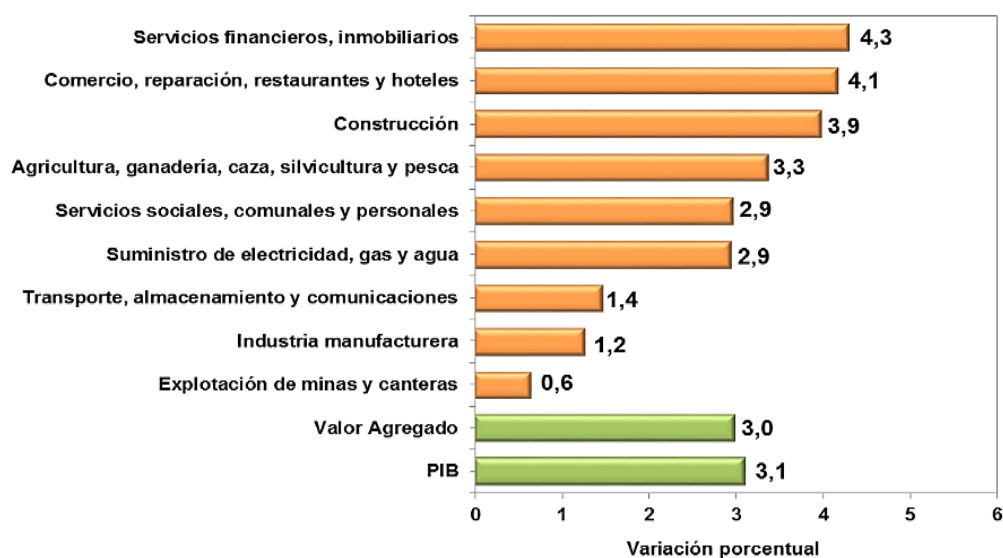
#### **1.3.1. La industria en la economía colombiana**

En los años noventa, Colombia inició el proceso de apertura económica e ingresó al comercio mundial, reduciendo la carga arancelaria a todos aquellos bienes que no se producían dentro del territorio nacional, generando desprotección a la

industria nacional, que no se encontraba preparada para asumir el reto de enfrentarse a un mercado globalizado [31]. La precaria infraestructura vial y portuaria nacional, limitaron el desarrollo de la industria, debido al incremento de los costos del transporte y al precio internacional de algunos productos, frente al fenómeno de devaluación o revaluación del peso colombiano.

La economía colombiana, se basa en mayor medida, en la producción de bienes primarios sin valor agregado, presentando bajos niveles de desarrollo científico y tecnológico, caracterizado por la falta de inversión gubernamental [56], haciendo que sea un desafío para el gobierno desarrollar e incentivar mediante estrategias gubernamentales, mecanismos que permitan la evolución y fortalecimiento de la industria como un destacado sector dentro de la economía nacional (ver Figura 6).

**Figura 6.** Variación porcentual anual del PIB nacional por grandes ramas de actividad 2015. Fuente: [19].



Los acuerdos de tratados de libre comercio, con países como México, Salvador, Guatemala, Honduras, Estados Unidos, Japón, Unión Europea, Cuba, entre otros, han hecho desaparecer algunos sectores de la industria, que no fueron competitivos frente a los bajos precios de esos países y de Asia. Los resultados de estos acuerdos muestran exportaciones del orden de US\$ 48.52 mil millones e importaciones US\$ 56.05 mil millones, datos del 2015, que revelan un desbalance entre lo que se exporta en Colombia y lo que se importa [17].

La carga tributaria en Colombia según la ANDI, indica que la tarifa efectiva de tributación de las empresas colombianas es de 68,1%, cifra que supera a la media de otros países de América Latina, que es de 46,7%, siendo la tercera más alta de la región, dificultando el desarrollo de la industria colombiana, haciéndola menos competitiva dentro de la economía global [21].

### 1.3.2. La industria del plástico

El origen del plástico se remonta a 1860, cuando Phelan and Collarder fabricantes de bolas de billar, mediante un concurso público ofrecieron US\$10.000 a quien pudiera sustituir el marfil natural en la fabricación de estas bolas. En 1919, Leo Hendrik Baekeland, sintetizó el primer polímero, nombrándolo “baquelita”, dando paso a la era del plástico [32]. El desarrollo tecnológico ha permitido que los polímeros estén presentes en diversidad de aplicaciones comerciales e industriales, debido a sus características, por ejemplo, fácil moldeado, bajos costos de producción, aislantes acústicos, impermeables, etc. Los usos más comunes son:

- En aplicaciones industriales: mangueras, carrocerías, aislantes eléctricos, componentes de aparatos electrónicos, aparatos eléctricos, etc.
- En construcción: tuberías, impermeabilizantes, acoples, adornos, espumas aislantes de poliestireno, etc.
- En industrias de consumo: cosméticos, envoltorios, juguetes, maletas, artículos deportivos, empaques para alimentos, bolsas, etc.

Actualmente, la industria del plástico tiene una producción mundial estimada de 299 millones de toneladas, que sólo se ha visto afectada por las crisis económicas desde mediados del siglo XX hasta la actualidad. El principal productor de plástico a nivel global es China, que junto con los demás países asiáticos representan el 45% del mercado, seguido de Estados Unidos y Europa. Los principales factores que afectan directamente la producción, están relacionados con la normativa y tributación de algunos países, según afirma Manuel Fernández, Director General de Plastics Europe, *“es necesario que nuestro sector industrial reciba apoyo por parte de las instituciones y se desarrollen verdaderas estrategias de ‘re-industrialización’ a nivel nacional y europeo sin las cuales cada vez va a ser más difícil competir con otras economías mundiales que cuentan con marcos regulatorios menos restrictivos y acceso a materias primas y recursos energéticos mucho más baratos. A modo de ejemplo, producir uno de los polímeros más comunes cuesta la mitad en EE.UU. que en Europa”* [55].

El plástico ha penetrado en casi todos los sectores de la economía mundial, por su diversidad de aplicaciones e ilimitadas técnicas de innovación, provocando una serie de problemas medioambientales, debido al exceso de desechos arrojados a la naturaleza; se estiman que estos desechos son alrededor de 2.500 millones de toneladas al año, los cuales se quedan flotando en el mar, viajan al fondo marino o se agrupan sobre las costas. Por ejemplo, los efectos del plástico en los peces están en la intoxicación del hígado, provocando problemas metabólicos; según los recientes estudios de la FAO, existen islas de desperdicios plásticos del doble del tamaño de Texas, flotando tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico [28].

Los polímeros biodegradables han surgido ante la necesidad de buscar alternativas de plásticos amigables al medio ambiente, que no incidan drásticamente en el equilibrio natural, el hecho que promovió este tipo de desarrollo fue la crisis del

petróleo de finales del siglo XX, por la reducción de precios, lo que dio lugar a una preocupación generalizada sobre cuánto podrían durar las reservas de crudo y qué tanto podría variar su precio, dependiendo de estas. Las iniciativas en polímeros biodegradables buscan eliminar la dependencia de los derivados del petróleo y sustituirlas por plásticos biodegradables obtenidos de fuentes naturales, que tendrían un tratamiento más fácil en rellenos sanitarios, donde se degradarían.

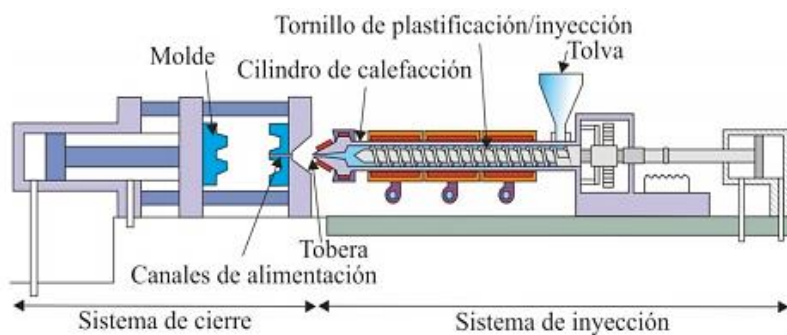
Por mencionar un ejemplo, se tiene al Laboratorio de Reología y Empaques de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, donde se realizan películas biodegradables *“con el fin de tener aplicaciones prácticas dirigidas principalmente al sector industrial”* [41].

### 1.3.2.1. Procesos de moldeo de polímeros en la industria del plástico

La transformación de la materia prima en la industria del plástico, involucra diferentes procesos, de acuerdo al producto final al que se quiera llegar. En estos procesos, generalmente interviene una transferencia de calor para fundir el material y poderlo llevar a la forma deseada, esta infinidad de aplicaciones le ha permitido a la industria del plástico reemplazar materiales como el metal, la madera, fibras naturales, cerámicas, entre otras. A continuación, se presentan los principales procesos en el moldeo de polímeros [11]:

1. **Proceso de moldeo por inyección:** en este proceso, se inyecta a presión un polímero fundido por efectos de la temperatura en un metal, con una forma establecida se identifica la pieza que se desea; este elemento es conocido como molde, el plástico se inyecta a través de un orificio conocido como compuerta (ver Figura 7).

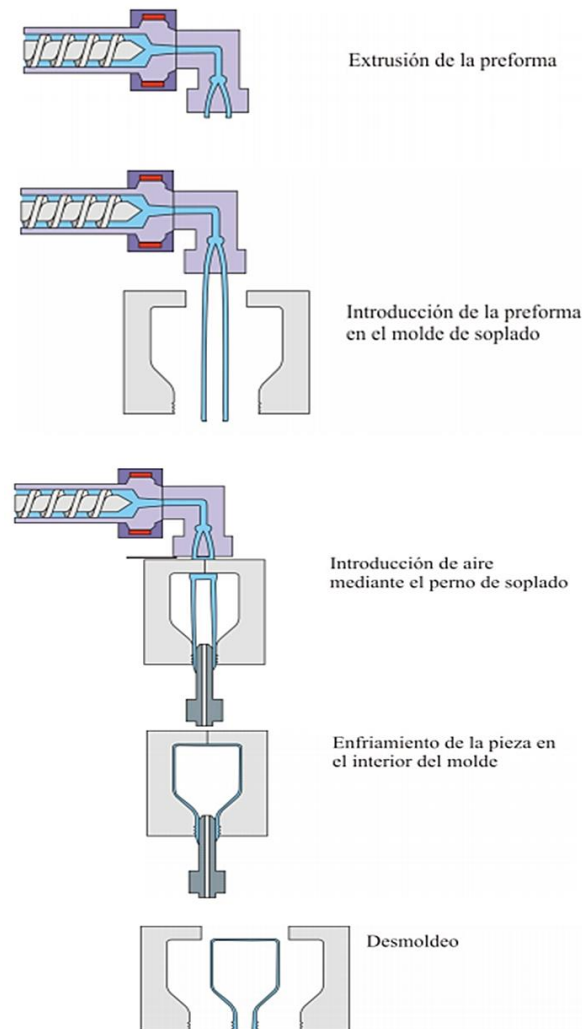
**Figura 7.** Representación esquemática de un proceso de moldeo por inyección del plástico. Fuente: [11].



2. **Proceso de moldeo por soplado:** en este proceso se ejerce una presión de aire que expande el material, el cual se encuentra a una temperatura elevada (temperatura de fusión), esta presión se ejerce sobre una preforma o el párison dependiendo del proceso de soplado (extrusión-soplado, inyección-soplado, coextrusión-soplado), fabricando piezas huecas. Estas piezas pueden fabricarse con espesor de paredes diferentes, el factor que determina el espesor es la velocidad de extrusión. Este proceso, involucra varias

etapas, en la primera etapa se tiene una manga de plástico de forma tubular, la cual posteriormente es sellada por el molde que tiene la forma idéntica del producto final; después se le aplica una presión de aire que expande el plástico a las paredes del molde y finalmente, se realiza un proceso de enfriamiento para terminar con la apertura del molde y la expulsión del producto final (ver Figura 8).

**Figura 8.** Proceso de moldeo por soplado. Fuente: [11].



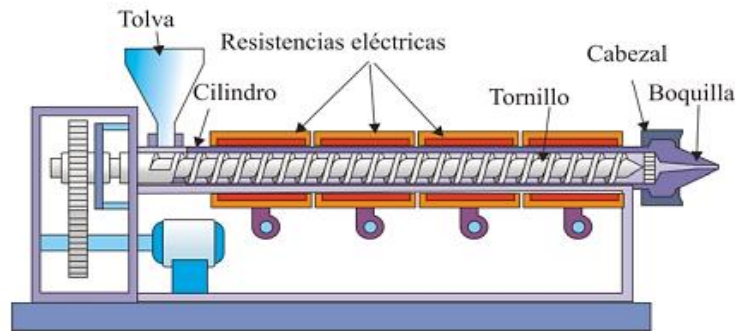
**3. Extrusión de polímeros:** el material fundido es forzado a salir por la boquilla, de tal manera que se produzca una sección transversal de longitud indefinida. En la industria del plástico la maquina extrusora de husillo simple es la más utilizada, en este proceso la extrusora funciona como una bomba que permite el paso del polímero a través de la boquilla. El proceso de extrusión comprende las siguientes etapas (ver Figura 9):

- Transporte del material hacia la zona de fusión.



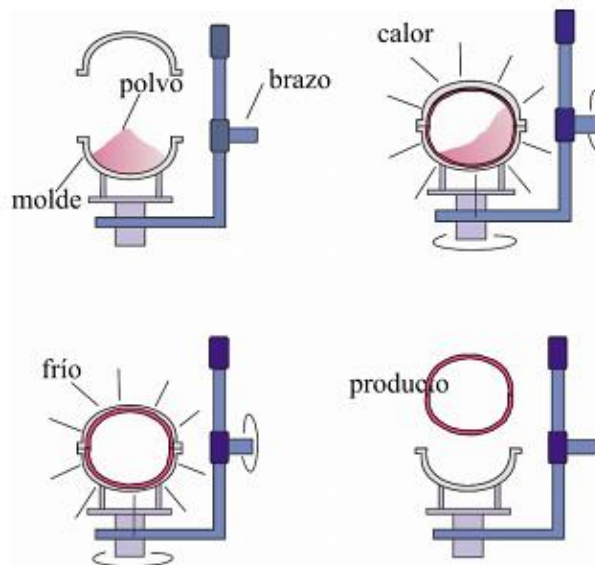
- Fusión del material.
- Bombeo del material fundido.
- Mezclado del material.
- Eliminación del gas del material.
- Conformado del materia.

**Figura 9.** Proceso de extrusión de polímeros con husillo sencillo. Fuente: [11].



4. **Moldeo rotacional:** se introduce una cantidad de plástico frío, puede ser en polvo o líquido, posteriormente se cierra el molde y se hace rotar entorno a dos ejes en el interior del horno, una vez se calientan las paredes del molde el plástico comienza adherirse a estas, en capas sucesivas gracias a la rotación biaxial (ver Figura 10).

**Figura 10.** Proceso de moldeo rotacional. Fuente: [11].

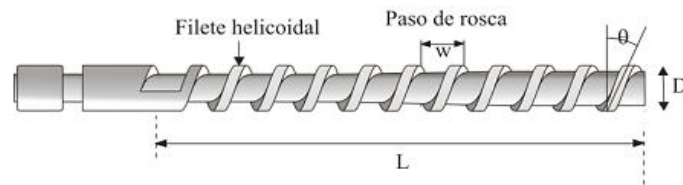


### 1.3.2.2. Principales componentes de la maquinaria en la industria del plástico

En la industria del plástico, existe una serie de componentes que tienen funciones específicas de acuerdo al proceso de moldeo en el cual se están empleando, debido a que estos intervienen directamente en el proceso de transformación de la materia prima en un producto final. A continuación, se mencionan algunos de estos componentes, junto con la función que desempeñan [11]:

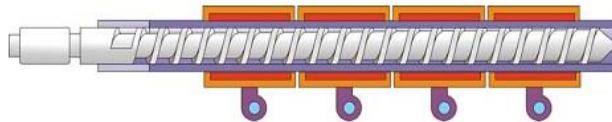
- **La tolva:** contenedor a través del cual se introduce materia prima en la máquina. Su diseño debe garantizar un flujo constante del material.
- **Tornillo de extrusión:** o usillo, desempeña una función importante, debido a que es el encargado de transportar, calentar, fundir y mezclar el material. Tiene forma de cilindro largo, rodeado por un filete helicoidal; su forma específica depende de la funcionalidad deseada y del tipo de material con el que se trabaja. Entre sus parámetros de diseño se encuentran: longitud, diámetro, ángulo del filete ( $\theta$ ) y paso de la rosca ( $w$ ) (ver Figura 11).

Figura 11. Tornillo de extrusión. Fuente: [11].



- **El cilindro:** contiene en su interior al tornillo, por lo que se construye con aceros resistentes, que permiten soportar las fuerzas de cizalla, debido a su superficie rugosa, buscando garantizar una fluidez constante del material en la extrusora. Generalmente se le instala un sistema de transferencia de calor compuesto por resistencias, las cuales transfirieren calor para fundir el material y así lograr que este fluya (ver Figura 12).

Figura 12. Cilindro y sistema de calefacción. Fuente: [11].



- **Cabezal y boquilla:** ubicados al final del tornillo, su función es sujetar la boquilla, que se emplea para moldear el plástico. De acuerdo a la aplicación que trabaje, se utilizará un tipo específico de boquilla, que pueden tener múltiples formas: anulares, planas, circulares, entre otras.

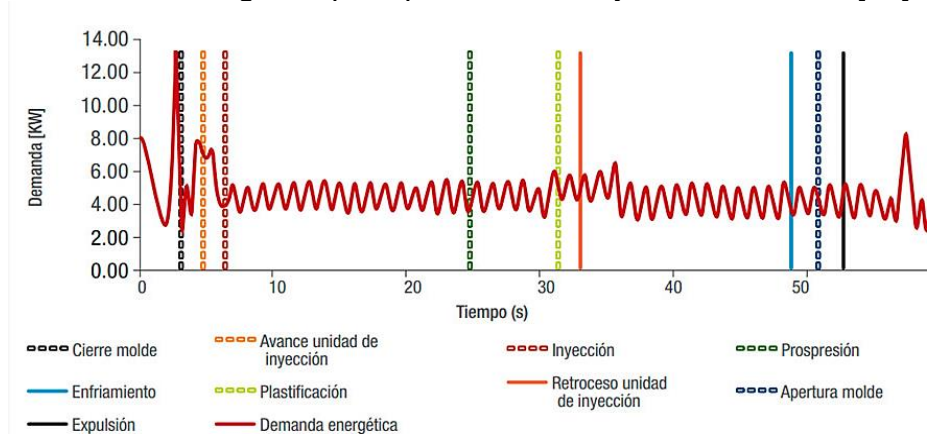
### 1.3.2.3. Parámetros de eficiencia y productividad en la industria del plástico

Otra parte importante de la industria del plástico, es conocer parámetros que involucren a la producción de la industria y a su EE, desde los cuales se pueda examinar la industria para proponer mejoras y soluciones. A continuación se mencionan algunos parámetros que inciden directamente en la EE y productividad en la industria del plástico:

- **Tecnología más eficiente:** el mayor foco de consumo está asociado directamente a la maquinaria empleada en los procesos de inyección y soplado de polímeros, resaltando mayores consumos para el último caso, debido a la existencia de 2 motores, uno para la extrusión y el otro para el sistema hidráulico. Los sistemas de calentamiento de las unidades de plastificación, también representan un alto consumo debido a la utilización de resistencias eléctricas para fundir el material, destacándose el husillo y cabezal, que por condiciones de diseño puede ser ineficiente y representar un alto consumo energético (ver Figura 4).

Para tener una idea del consumo energético, que puede representar una máquina, la asociación europea de fabricantes de maquinaria para plásticos y caucho (EUROMAP), emitió en 2013, la tercera edición de su recomendación técnica para la determinación del consumo específico de energía de máquinas inyectoras (EUROMAP 60) [27]. Esta recomendación técnica se divide en dos secciones: en la primera sección (EUROMAP 60.1), se dan las pautas para la determinación de la clase de una máquina inyectora en particular basada en su desempeño energético, mientras que en la segunda (EUROMAP 60.2) se dan las pautas para la determinación del consumo energético específico de un producto moldeado por inyección, todo esto enmarcado en el desempeño energético y el diámetro de la unidad de plastificación (ver Figura 13) [26].

**Figura 13.** Demanda energética para procesos de inyección. Fuente: [40].

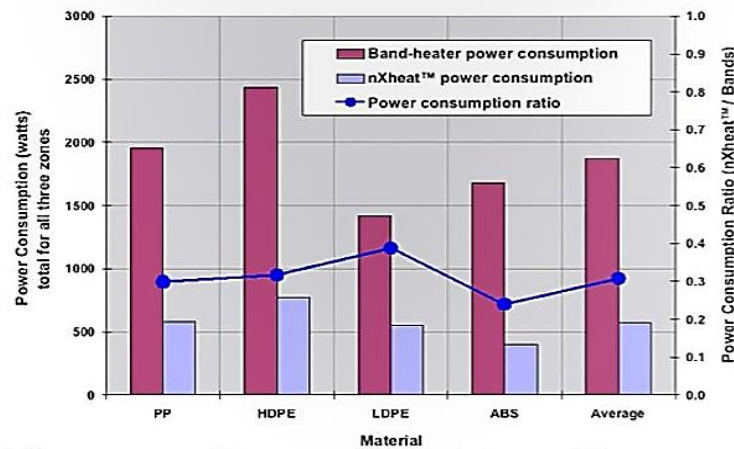


- **Reducción de consumos energéticos en sistemas de calentamiento:** tradicionalmente compuesto por resistencias eléctricas convencionales para unidades de plastificación en procesos de extrusión, soplado e inyección. Representan alto consumo, debido a la oposición de la corriente en el conductor,

provocando un aumento de temperatura, necesaria para fundir el material, que por sus propiedades intrínsecas, tiene baja conductividad térmica, dificultando el proceso. Se necesita mantener una temperatura estable, ya que el calor que se disipa por exposición al aire a temperatura ambiente genera pérdidas en el sistema. Una solución es aislamiento de bandas o resistencias cerámicas cubiertas aislantes, que permite la reducción de casi 45% del consumo del sistema y reducción en el tiempo de arranque en un 35% [48].

Los sistemas de calentamiento por inducción son una alternativa atractiva, que permiten eficiencias de un 95%, reduciendo pérdidas en un 98% y minimizando el consumo energético hasta un 70% (ver Figura 14) [69].

**Figura 14.** Consumos energéticos en zonas calentadas con tecnología convencional y por sistemas de alta eficiencia Nxheat. Fuente: [69].



- **Máquinas con accionamientos eléctricos:** recomendables para capacidades inferiores a 400 toneladas, para tamaños mayores, se sugieren sistemas hidráulicos, más efectivos para transferir grandes cantidades de energía y fuerza. Las máquinas eléctricas están diseñadas para realizar varios movimientos al tiempo (por ejemplo, plastificar mientras abre y cierra el molde), representando una mayor productividad. Así mismo, no se consume energía con los motores eléctricos cuando algunas funciones no se utilizan, lo que no sucede con los sistemas hidráulicos. Por ejemplo, una bomba con servomotor es más eficiente frente a los sistemas proporcionales por caudal, debido a que ésta sólo bombea cuando es necesario, removiendo la válvula de control y se detiene completamente en los períodos innecesarios [50].
- **Disminuir las cargas:** el aumento de presiones, temperaturas y otros factores relacionados con las capacidades nominales de la maquinaria puede incrementar el consumo energético, para ello trate de reducir las cargas y los tiempos muertos asociados al proceso de tal manera que no afecte la calidad del producto y que además le permita operar a la temperatura idónea para cada tipo de material. Identifique el porcentaje de la carga nominal a la cual están trabajando los equipos, tratando de estar cerca al 75% de esta, de tal manera que cuando sea posible aumente la velocidad de procesamiento. Reducir la temperatura no implica

siempre minimizar consumos, primero se deben identificar y corregir defectos y fallas en los equipos, evaluar acciones para evitar pérdidas de energía por falta de aislamientos, temperaturas excesivamente bajas en los enfriadores de agua, fugas de aire comprimido, etc., [49].

### **1.3.3. Industria del plástico en Colombia**

Tiene una producción aproximada de USD\$ 4.000 millones al año, según lo afirma Carlos Alberto Garay Salamanca, presidente de Acoplásticos, con un procesamiento anual estimado en 980.000 toneladas de resinas, de las cuales el 50% es de producción nacional. Acoplásticos agrupa a más de 600 empresas del sector del plástico, que elaboran productos como: empaques, químicos, cauchos, bolsas, fibras, pinturas, etc. Estas empresas aportan más de 40.000 empleos directos según datos del DANE, sin contar a las más de 2.000 empresas que aún se encuentran en la informalidad [20].

La evolución de la industrial colombiana es lenta, Colombia aporta solo el 3,5% de las exportaciones de plásticos, a pesar de tener acuerdos vigentes con cero aranceles con Estados Unidos, México, Brasil, Ecuador y Chile, hecho que debería incentivar el desarrollo industrial en el país. Gran parte de la problemática radica en altos costos de la energía y materia prima, factores que retrasa la competitividad de este sector de la industria [63].

#### **1.3.3.1. Empaques Plásticos de Occidente Ltda.**

EPO Ltda., es una compañía caleña fundada en 2008, por el señor Antonio Tobar Cañaveral, quien tiene más de 25 años de experiencia en este sector. Esta compañía se dedica a la producción de empaques plásticos para la industria y el comercio, a través de procesos de inyección y soplado de polímeros; y se complementa con la prestación de servicios de maquila y asesoría en el desarrollo de proyectos. Se fabrican diferentes productos, dirigidos a distintos sectores económicos, involucrando [24]:

- Empaques para alimentos.
- Recolectores para residuos hospitalarios.
- Empaques para cosméticos.
- Empaques para uso industrial.
- Productos de línea hogar.

### **1.4. MARCO LEGAL COLOMBIANO**

El tema de EE en Colombia, se ha desarrollado alrededor de dos leyes principales, Ley 697 de 2001 y Ley 1715 de 2014; generándose así el marco legal, necesario para limitar el campo de acción respecto al tema de EE, formando la base legal para

su posterior desarrollo, originando herramientas, organizaciones y otras disposiciones muy importantes como lo es URE, su programa PROURE y la integración de energías no renovables al sistema energético nacional. También se destaca un Proyecto de Decreto de Ley del 2016 (durante la elaboración del presente documento), por el cual se quiere establecer lineamientos de política pública para incentivar la autogeneración a pequeña escala, la gestión de la demanda de energía eléctrica, la medición inteligente y otras disposiciones necesarias para el cabal cumplimiento de esta ley [47].

En cuanto al tema del uso y manejo de plásticos, el país apenas comienza a interesarse, siendo este un tema de interés local y regional.

#### **1.4.1. Ley 697 de 2001**

Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones [45].

Conocida como Ley URE, es la ley que interviene en el tema energético en: primero, fomenta el uso racional y eficiente de la energía; segundo, promueve la utilización de energías alternativas y tercero, dicta otras disposiciones necesarias para la adecuada aplicación de la presente ley. Además, asigna al Estado como ente que debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de esta ley, obligaciones de las empresas de servicios públicos, la promoción del uso de fuentes no convencionales de energía, tecnologías, estímulos y sanciones. Como elementos principales, se puede destacar:

1. Se declara el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE).
2. Establecimiento de normas e infraestructura necesarias para el cumplimiento de esta ley, por parte del Estado, generando conciencia URE, conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.
3. Se realiza la definición de diferentes elementos para tener un marco de referencia general de aplicación nacional, así: URE, Uso eficiente de la energía, Desarrollo sostenible, Aprovechamiento óptimo, Fuente energética, Cadena Energética, Eficiencia Energética, Fuentes convencionales y no convencionales de energía, Energía Solar, Eólica y Geotérmica, Biomasa y Pequeños aprovechamientos hidroenergéticos.
4. Se establecen los objetivos de Minminas. Promover y asesorar los proyectos URE, de acuerdo al programa PROURE y Promover el uso de energías no convencionales dentro del programa PROURE.
5. Se crea PROURE.
6. Se establecen obligaciones especiales de empresas de servicios públicos.

7. Se establecen Estímulos y sanciones, para la investigación, educación, reconocimiento Público y generales. Todo de acuerdo al programa de PROURE y normas legales vigentes.
8. Minminas en coordinación con las entidades públicas y privadas pertinentes, será el encargado de realizar la Divulgación de esta ley.
9. Realizar la Promoción del uso de fuentes no convencionales de energía, con prelación en las zonas no interconectadas.
10. El Gobierno Nacional incentivará y promoverá a las empresas que importen o produzcan cualquier tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales, en el campo URE, de acuerdo a las normas legales vigentes.
11. La presente ley rige a partir de la fecha de su promulgación y deroga las disposiciones que le sean contrarias.

#### **1.4.2. Ley 1715 de 2014**

Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional [46].

Conocida como Ley de Energías Renovables, tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, FNCE, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, busca promover la gestión de la energía, que comprende tanto la EE como la respuesta de la demanda. Estableciendo así el marco legal e instrumentos necesarios para tal fin y para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía, EE y la respuesta de la demanda. Establece líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia, en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La ley consta de 10 partes principales:

1. Disposiciones generales.
2. Disposiciones para la generación de electricidad con FNCE y la gestión eficiente de la energía.
3. Incentivos a inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía.
4. Del desarrollo y promoción de las FNCER.
5. Del desarrollo y promoción de la gestión eficiente de la energía.
6. Desarrollo y promoción de FNCE y gestión eficiente de la energía en las ZNI.

7. Acciones ejemplares del Gobierno Nacional y la Administración Pública.
8. Ciencia y tecnología.
9. Otras consideraciones relacionadas con aspectos medioambientales.
10. Seguimiento y cumplimiento.

### **1.4.3. Legislación colombiana sobre uso racional y reciclaje del plástico**

El uso indiscriminado del plástico ha motivado la creación de normas regulatorias para su utilización y reutilización, que afecta significativamente el medio ambiente, debido al tiempo de descomposición. Para mitigar esta problemática, la secretaria del medio ambiente de Bogotá, emitió la Resolución No 0829, que obliga, a partir del 17 de febrero, hacer un uso racional que involucre la reutilización y reciclaje del plástico; establece un plazo de 6 meses para que empresas y comercializadores restrinjan el uso de bolsas de medidas inferiores a 30x30 cm y que solo se utilicen una vez. Los productores deberán imprimir la capacidad de carga de la bolsa. Con estas medidas se pretende que los centros comerciales y demás, logren una reducción del 30% de las bolsas que utilizan, en un periodo de 3 años, en el cual deberán mostrar su programa de uso racional del plástico [62].

A nivel nacional, el Ministerio de Medio Ambiente tiene la campaña Reembólsale al Planeta, mientras que a nivel global, la WWF lidera campañas con este objetivo. Casos como los de *“Estados Unidos, la mayoría de países europeos y casi 20 de África son algunas de las naciones que han regulado el uso de la bolsa plástica... por ejemplo, la Comisión Europea ordenó a los países de la unión disminuir este elemento en un 50% hasta el 2017, y en un 80% hasta el 2019”* [23].



## **2. ESPECIFICACIONES DE UN MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA INDUSTRIA**

En este capítulo se abordan las bases teóricas de EE, soportadas en estudios nacionales e internacionales que han permitido la evolución de esta temática; a partir de esos modelos, propuestos anteriormente, se destacan aquellas especificaciones y recomendaciones técnicas, que permiten consolidar un modelo que incorpore la gestión integral de los recursos energéticos, soportado en la norma NTC-ISO 50001 y el estándar ISA-88 que es utilizado para la correcta toma de datos y cálculo de IE, desde los niveles más bajos en la estructura de una empresa del sector industrial (información de piso) y junto con la norma NTC-ISO 50001, se presenta una metodología estándar que se puede utilizar en cualquier industria.

### **2.1. MODELOS DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN EL MUNDO**

Muchos de los estudios desarrollados sobre EE en el mundo han convergido en la academia, debido a que los esfuerzos realizados por el estado, universidades y, sectores públicos y privados, han encontrado en ella el ambiente propicio para la investigación. Estos intentos por unificar criterios en cuanto a EE se consolidaron en la norma NTC-ISO 50001, la cual reunió gran parte de los estudios y desarrollos tecnológicos previos, en los cuales se estudiaba el uso racional y eficiente de los recursos energéticos. Algunos modelos consideran las prácticas sociales/culturales como relevantes, en la gestión energética, ya que el actuar de las personas en las organizaciones afectan el desempeño energético, siendo más común, que las personas tengan malas prácticas energéticas.

Los incentivos tributarios en algunos países, han promovido el desarrollo e implementación de un SGE en las organizaciones, dado que la retribución de parte de la inversión económica genera una motivación adicional, que junto con financiación y subsidios estatales, incentivan la adopción de medios tecnológicos que generen una disminución en el consumo energético [51].

Con la norma NTC-ISO 50001 se estandarizaron muchos parámetros de estudio referentes a la gestión y EE, pero aún se están realizando estudios que proponen modelos para complementar algunas falencias presentes en esta norma; algunas de estas publicaciones se mencionan dentro de este capítulo, para resaltar la importancia de estos aportes dentro del modelo a proponer. También se tendrán en cuenta algunas publicaciones anteriores a la norma, que destacan ciertos aspectos importantes, que no sobresalen en su contenido.

#### **2.1.1. Modelos de gestión energética internacionales**

El artículo “Modelos de gestión energética: revisión de algunas experiencias internacionales y perspectivas para Colombia” [15], analiza varios modelos de gestión energética utilizados internacionalmente, presenta similitudes y diferencias encontradas en esos modelos, enmarcadas en cada una de las etapas generales allí descritas, con relación a las propuestas desarrolladas hasta ese momento en

Colombia. Por lo tanto, este método resume en gran parte, a la mayoría de los estudios previos a la norma NTC-ISO 50001.

Debido a la diversidad de métodos que se consideran en este estudio, es necesario adoptar un enfoque que permita realizar un análisis metódico y organizado, para clasificar los modelos de gestión energética dentro de las etapas que comprende el ciclo PHVA. A nivel internacional, se implementaron diferentes programas y enfoques para ayudar a mejorar la EE, destacándose lo siguiente [15]:

1. **El enfoque *top-down*:** gestión del lado de la demanda; captura situaciones intersectoriales a través de una tabla insumo-producto, en este enfoque se consideran todas las acciones de los países que incentivan la adopción de las TEE, entre las cuales se pueden mencionar: 1) incentivos tributarios, 2) campañas de sensibilización, 3) reducción de precios en TEE, etc.
2. **Enfoque *bottom-up*:** gestión del lado de la oferta; determinará el costo asociado mediante una tasa social de descuento, en este enfoque se mencionan algunas acciones como: 1) transmitir información y brindar asistencia técnica a los productores para ayudarlos a actualizar sus productos, 2) colaboración en el desarrollo de estándares que tengan al menos las condiciones mínimas de calidad y 3) financiamiento para actualización por parte de los fabricantes.
3. **Enfoque híbrido:** se construye con la colaboración de las ESCOs, las cuales se encargan de brindar un proceso integral donde se evalúan los diferentes factores que intervienen en la reducción del consumo de recursos energéticos.
4. **Mecanismo financieros:** se logra mediante la creación de fondos públicos que permitan créditos e incentivos financieros para los industriales, cuyo objetivo sea invertir en TEE.
5. **Programas de eficiencia energética a nivel empresarial:** en los cuales se busca integrar todas las experiencias particulares de las empresas, involucrar expertos en el tema a fin de mejorar las prácticas y mejorar la EE.

Todas estas categorías, que separan los modelos de gestión energética, surgen de la diversidad de enfoques que cada uno de ellos plantea, pero que a su vez tienen un mismo objetivo, el cual es mejorar continuamente los procesos productivos incidiendo directamente en la EE y por consiguiente, en la rentabilidad del mismo.

De acuerdo a las coincidencias encontradas en el análisis de los 14 modelos estudiados, se puede resumir una idea central, que en todos los modelos se hace hincapié: los modelos de gestión energética buscan recomendar una serie de pasos lógicos, que no necesariamente deben seguir un orden estricto para encaminar a una mejora continua de los procesos productivos, en cuanto a EE [15].

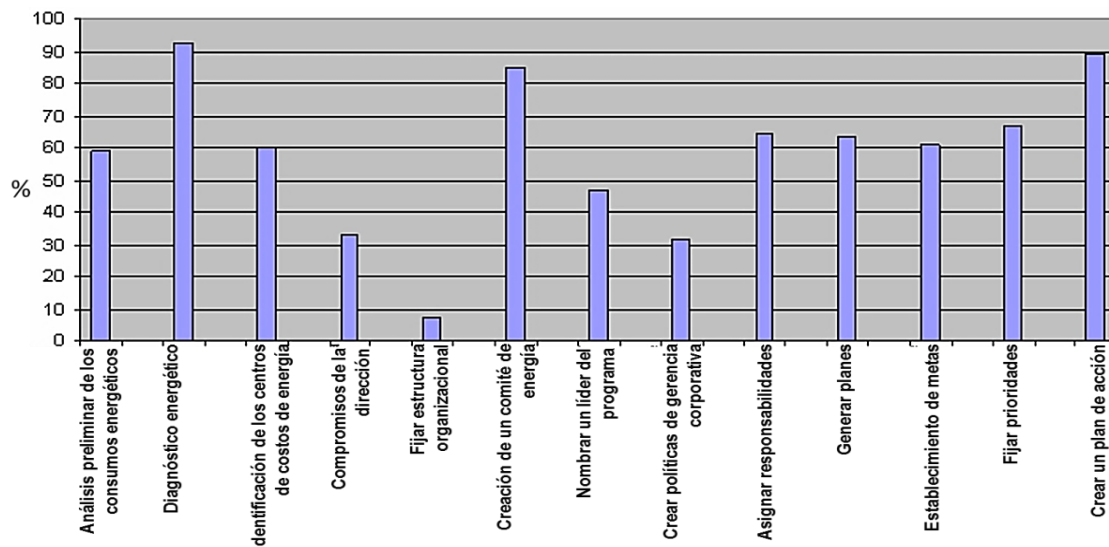
Dentro de las etapas que comprenden el ciclo PHVA, se detectaron una serie de similitudes que se enmarcan en cada uno de los procedimientos y actividades comprendidas en cada una de las etapas que cada modelo propone (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Valoración de los modelos de gestión energética. Fuente: [7].

NIVEL	CONSIDERACIONES
Nivel 0	El paso no se nombra en ninguna parte del modelo.
Nivel 1	El paso se sugiere dentro del modelo, pero no dice en que momento aplicarlo.
Nivel 2	El paso está dentro del modelo, pero aparece de forma implícita dentro de otro paso.
Nivel 3	El paso aparece ampliamente explicado con su momento de aplicación y herramientas.
Nivel 4	El paso es considerado como parte fundamental del modelo y aparece en el enfoque general del mismo.

Para la interpretación de los gráficos, el autor propone el cuadro de acuerdo a la valoración que los modelos tienen para cada una de las actividades realizadas dentro de cada etapa, siendo planear, hacer, verificar y actuar. En la primera etapa, las tendencias sobresalientes son de diagnóstico energético, creación de planes de acción y comité de energía (ver Figura 15).

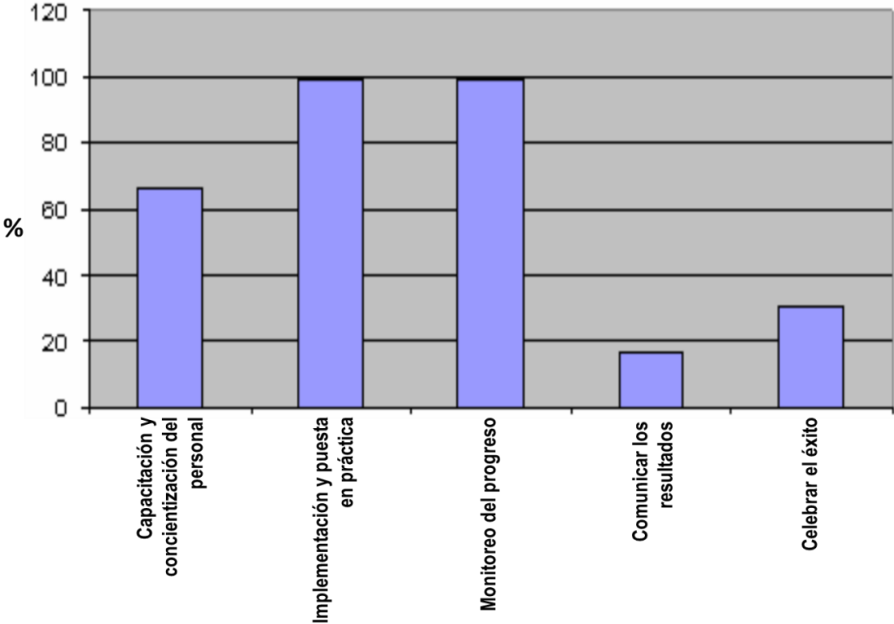
**Figura 15.** Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa del planear. Fuente: [7].



La etapa del hacer presenta unas características particulares, que se encontraron durante el desarrollo de la investigación, las cuales indican el enfoque que se le dio

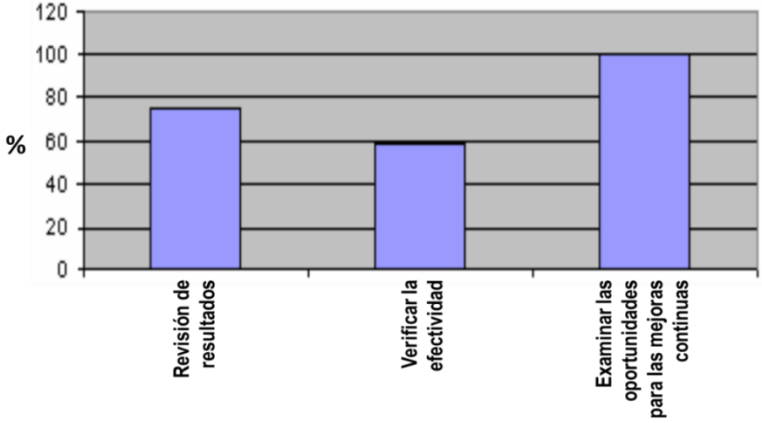
a esta etapa, donde se prioriza la implementación y puesta en práctica, y el monitoreo del programa (ver Figura 16).

**Figura 16.** Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa del hacer. Fuente: [7].



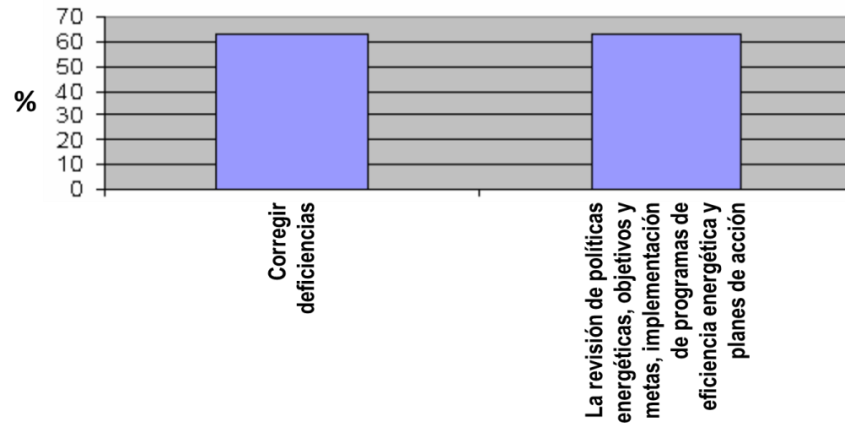
Algo similar sucede con la etapa de verificación, siendo la tendencia examinar las oportunidades para la mejora continua (ver Figura 17).

**Figura 17.** Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa de la verificación. Fuente: [7].



Mientras la etapa del hacer, que es de gran importancia, da libertad para su realización, quedando esta etapa a disposición, tanto para investigación como desarrollo (ver Figura 18).

**Figura 18.** Tendencias encontradas en los pasos de modelos en la etapa del actuar.  
Fuente: [7].



De todos los modelos analizados, se destacan similitudes como reducción de costos, supervisión de indicadores, gerencia en liderar procesos de cambios, diagnóstico, necesidad de capacitación, entre otros. En cuanto a las diferencias, se encuentran factores como el impacto de la EE en la producción, gestión energética en actividades específicas, monitoreo en línea, etc. También, es de gran importancia, destacar algunos aspectos relevantes, que en ninguno de los modelos estudiados se destacaron, entre los cuales se tienen:

- Innovación tecnológica.
- Alineamiento operacional.
- No integración a gestión organizacional.
- Limitación a procedimientos de control.
- Enfoques limitados.
- Alineación en procedimientos y procesos.
- Entorno y Medio ambiente.
- Procesos continuos.
- Métodos recolectores de datos con información de procedimientos claros.

### 2.1.2. Modelo de gestión energética colombiano

El artículo llamado “Modelo de gestión energética colombiano: desarrollo, experiencias y resultados de aplicación y perspectivas futuras de desarrollo” [13], presenta un modelo resultado de la investigación de grupos académicos, pertenecientes a la Universidad del Atlántico y la Universidad Autónoma de Occidente, quienes denominaron al modelo propuesto como MGIE.

Este modelo permite implementar dentro de las organizaciones el SGIE, de tal manera, que se puedan reducir, mediante técnicas de EE, el consumo de recursos energéticos sin la necesidad de incurrir en gastos, o grandes gastos, para desarrollos tecnológicos. Esta reducción en el consumo, se logra mediante la integración del sistema de gestión organizacional de la compañía, junto con la adopción de buenas prácticas que conduzcan al aumento de la productividad. El modelo propone 3 etapas, que comprenden:

- La decisión estratégica.
- La instalación del SGEI.
- La operación del SGEI.

Cada una de estas etapas se encuentra enmarcada en 21 pasos definidos, destacando la caracterización energética, en la cual se busca modelar con herramientas estadísticas los procesos productivos, de tal manera, que se consiga estimar el ahorro potencial a generar. En cuanto al establecimiento de los indicadores de gestión energética o también llamados indicadores de desempeño energético por la norma NTC-ISO 50001, se busca identificar las variables de control de los procesos y gestionar continuamente la eficiencia del proceso, a fin de lograr medidas correctivas, que conduzcan a mejorar la EE y por tanto, ahorros económicos y disminución de contaminantes [13].

### **2.1.3. Modelo estratégico de innovación de la gestión energética**

El papel que juega el Estado es determinante para promover el uso eficiente de los recursos naturales, especialmente, de los energéticos, es así como el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, se encarga de generar exenciones de IVA y deducciones de impuesto de renta, para aquellas organizaciones que reduzcan sus consumos energéticos, mediante la utilización de equipos de alta tecnología, bajo el concepto técnico de UPME, en objetivos energéticos de PROURE [51].

La participación de las universidades, como centros generadores de conocimiento para la formación de especialista en temas de EE, es uno de los pilares que permite el avance de la cultura energética en el país, para ello, el Estado (como regulador de políticas públicas) y el sector privado, se presentan como financiadores que impulsan la adopción de nuevas tecnologías y prácticas. Iniciativas como el *“Programa estratégico para la innovación en la gestión empresarial, mediante la asimilación, difusión y generación de nuevos conocimientos en gestión energética y nuevas tecnologías e implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en empresas de cinco regiones del país”* y el Programa Estratégico Nacional-Sistemas de Gestión Integral de la Energía o PEN-SGIE por sus siglas, muestran esta relación estrecha entre el Estado-Universidad-Empresa, que permite la retroalimentación y la innovación de nuevas prácticas de EE (ver Figura 19) [51].

**Figura 19.** Representación del modelo estratégico de innovación desarrollado por el PEN-SGIE. Fuente: [51].



Cuando las empresas desean implementar un SGIE, tienen que enfrentar la brecha cultural por falta de políticas energéticas y conocimiento, realizando actividades preparatorias que les permitan organizarse, como técnicas e internamente, a fin de obtener el máximo desempeño de las actividades para el SGIE [51]. Esos cambios implican cumplir 3 fases continuas (ver Figura 20). A continuación se presenta la descripción de las fases:

- 1) **Decisión estratégica:** debe haber una participación de la alta gerencia, proporcionando los recursos necesarios para lograr los objetivos.
- 2) **Instalación del SGIE:** implementación física del SGIE en la organización.
- 3) **Operación del SGIE:** funcionamiento del SGIE dentro de los límites físicos establecidos previamente en la organización.

**Figura 20.** Etapas de la implementación de un SGIE. Fuente: [51].

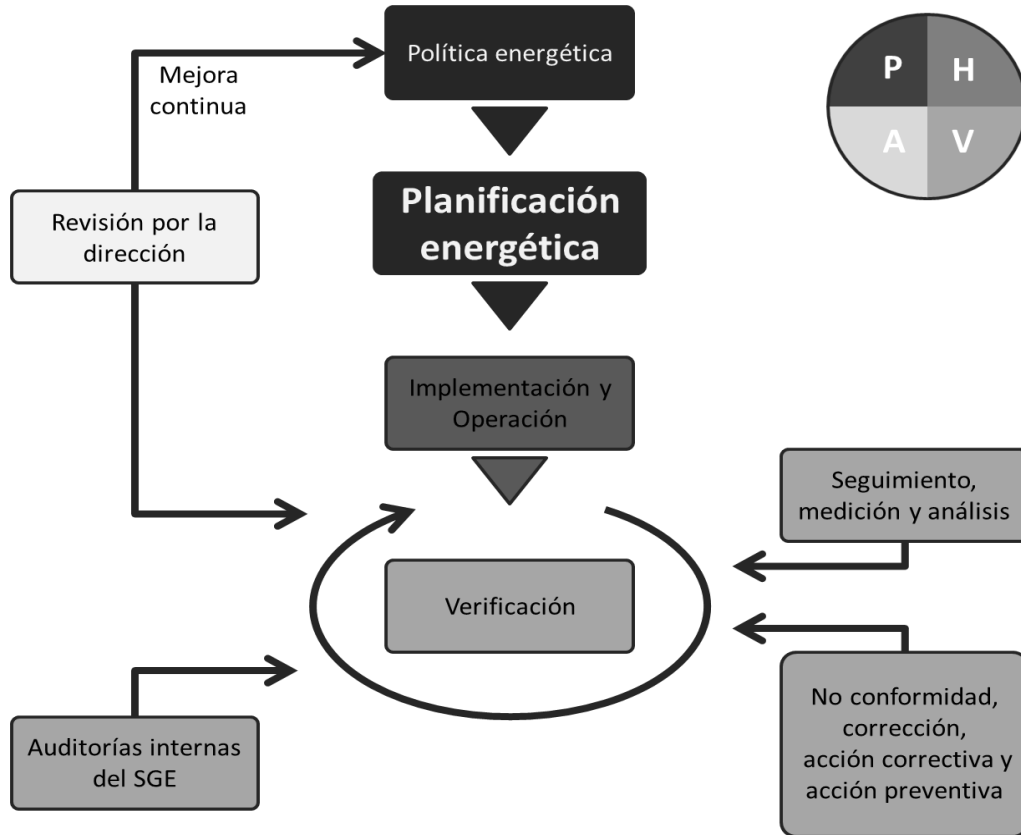


## 2.2. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA ISO 50001

La norma ISO 50001:2011 Sistemas de Gestión de la Energía, surge como resultado del esfuerzo conjunto de representantes técnicos de más de 56 países, quienes trabajaron conjuntamente por más de 3 años, logrando construir los requisitos mínimos necesarios para hacer un manejo eficiente de la energía, dentro de una organización, bajo la premisa de mejora continua de la gestión energética. Colombia adopta, mediante la norma espejo emitida por el ICONTEC, la NTC-ISO 50001 Sistemas de Gestión de la Energía, el 24 de enero de 2012, en la cual se establecen los parámetros, se orienta en su respectivo uso y aplicación para lograr

la correcta administración de los recursos energéticos en las organizaciones, mediante la utilización del ciclo PHVA (ver Figura 21).

**Figura 21.** Diagrama del ciclo de mejora continua del modelo del SGE según NTC-ISO 50001. Fuente: [14].



NTC-ISO 50001 es aplicable a cualquier organización, independientemente de sus condiciones y características. El éxito de su implementación dependerá del compromiso de la organización, encabezado por su gerencia. Esta norma, se sustenta en la gestión energética de prácticas comunes en las organizaciones, de tal manera que incluye un ciclo de mejoramiento continuo, conocido como PHVA, que en el contexto de la gestión energética, se define de la siguiente manera [14]:

- Planificar: implica realizar una revisión energética, para establecer una línea de base, IDE y objetivos a llegar, mediante acciones que se tomen en la organización, de acuerdo a su política energética, con el fin de mejorar el desempeño energético.
- Hacer: consiste en implementar todos los planes de acción en pro de la gestión energética.
- Verificar: se realiza el monitoreo de resultados obtenidos en el proceso, de acuerdo al desempeño energético, en relación con su política energética.



- Actuar: esta etapa comprende la toma de decisiones que permitan mejorar continuamente el desempeño energético.

### **2.2.1. Sistemas de Gestión Energética**

La norma NTC-ISO 50001 define al SGE, “como un conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan, para establecer una política y objetivos energéticos, junto con los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos” [14].

#### **2.2.1.1. Beneficios de un SGE**

Un SGE puede aportar beneficios a las organizaciones, si se establecen unos objetivos programados que se adapten a su política energética, generando un autoconocimiento y permitiendo determinar cuál será su potencial ahorro de energía, si se implementa el SGE. Algunos de estos beneficios son [14]:

1. Reducción de costos asociados a la producción.
2. Aumento de la productividad.
3. Criterios sobre EE en la compra de equipos.
4. Detección de fallas o puntos críticos en cuanto a EE.
5. Disminución en tiempos en la identificación de fallas inesperadas.
6. Aumento de la efectividad en el mantenimiento.
7. Reducción de emisiones de gases y desechos.
8. Mejoramiento de la imagen corporativa.

#### **2.2.1.2. Requisitos del SGE**

Se establecen en NTC-ISO 50001, a fin de detectar las variables que inciden en el uso y consumo de los recursos energéticos, para que se pueda establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar un SGE, con alcances definidos dentro de un ciclo que involucra medición, documentación, compra de equipos y capacitación del personal. Es fundamental que la organización que pretenda emplear la norma, tenga una política energética clara, que proporcione el marco de referencia con la cuál pueda alcanzar los objetivos energéticos que mejoren su eficiencia y productividad. Esta norma ha sido diseñada para emplearse de manera independiente, pero eso no la limita a ser utilizada conjuntamente con otros estándares y normas, dejándolo a criterio de la organización y sus necesidades [14].

Los objetivos energéticos deben ser acompañados por la alta dirección de la organización, encargados de: designar un representante capacitado en temas de

EE, suministrar recursos necesarios, designar alcances del SGE, proponer los IDE, monitorear en intervalos de tiempo los resultados obtenidos, entre otros.

## 2.2.2. Planificación Energética del SGE

Comprende todo lo relacionado al uso y consumo de la energía, como se establece en la norma NTC-ISO 50001, siendo necesario identificar, analizar y comparar todos los posibles factores que intervienen, respecto al uso y consumo de la energía. Cuando se analizan estos factores, se debe hacer una revisión de todas aquellas actividades de la empresa u organización, que incidan en su desempeño energético.

Su implementación, está enfocada en realizar mejoras que produzcan eficiencia en los procesos y en el uso y consumo de la energía, por lo tanto, los objetivos y metas energéticas son indispensables para generar planes de acción, obteniendo, principalmente, beneficios energéticos, productivos y monetarios, además de mejoras en la gestión general de la organización (ver Figura 22).

**Figura 22.** Diagrama de relación entre los objetivos, las metas y los planes de acción. Fuente: [14].

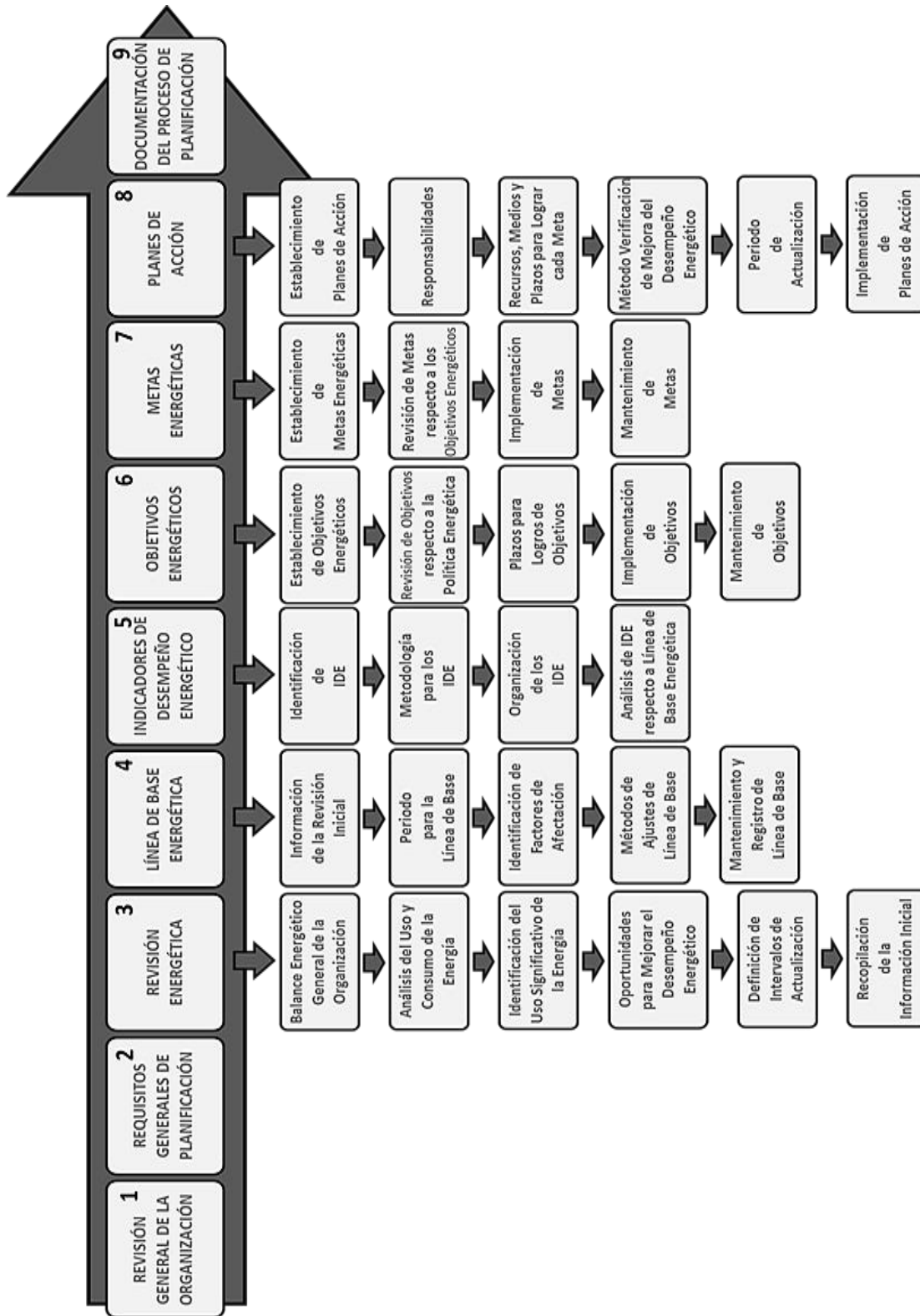


La Planificación Energética involucra los siguientes procedimientos: Revisión General de la Organización, Requisitos Generales de Planificación, Revisión Energética, Línea de Base Energética, Indicadores de Desempeño Energético, Objetivos Energéticos, Metas Energéticas, Planes de Acción y Documentación del Proceso de Planificación. Estos procedimientos son el punto de partida, para establecer el estado energético de la organización y posterior implementación de un SGE. El presente trabajo está enfocado en la Revisión Energética y algunos avances en los procedimientos posteriores (ver Figura 23).

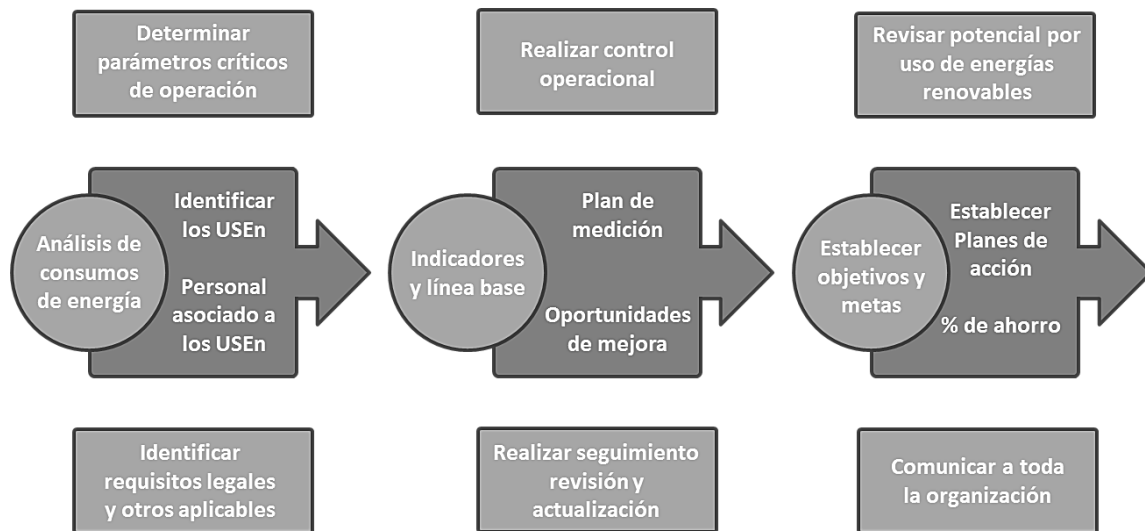
Como se puede comprender hasta este punto, la norma NTC-ISO 50001, no entra en detalle sobre cómo realizar un levantamiento de información de piso, necesario para alimentar los procedimientos de la Planificación Energética, que es la base para la implementación de un SGE, que cumpla con NTC-ISO 50001, siendo necesario la utilización de otras normas o estándares de dominio industrial, como en el presente caso, que hagan parte de la metodología para el procedimiento anteriormente mencionado.

El representante de la organización será el encargado de dirigir todas aquellas actividades encaminadas a mejorar el desempeño energético, identificando los procesos, personas, áreas que tengan un mayor impacto energético dentro de la organización, etc., de tal manera, que se puedan unificar esfuerzos para lograr los objetivos propuestos dentro del menor tiempo posible, manteniendo informada a la organización y acogiéndose a la normativa legal vigente (ver Figura 24) [14].

**Figura 23.** Diagrama del proceso de Planificación Energética, según NTC-ISO 50001. Fuente: propia, junio de 2016.



**Figura 24.** Diagrama de actividades de la planificación según NTC-ISO 50001.  
Fuente: [14].



### 2.2.2.1. Revisión Energética del SGE

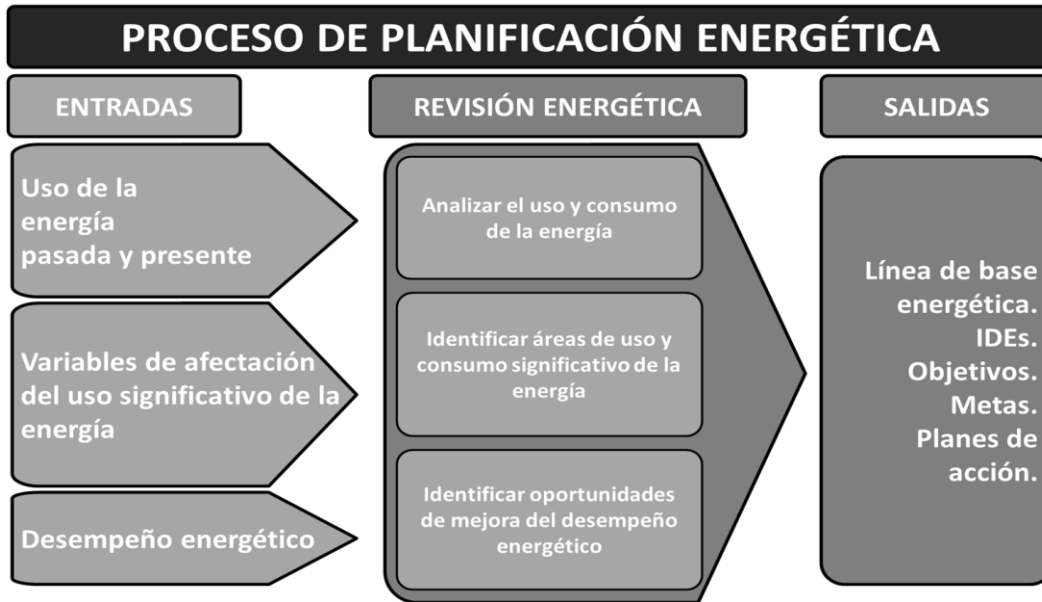
Este procedimiento comprende la identificación, revisión y análisis del uso y consumo de la energía. Conlleva implementar una metodología y un criterio acorde a la política energética de la organización, dentro de un proceso de documentación continua, lográndose conocer el uso y consumo de la energía asociada o no a la producción dentro de áreas y procesos específicos, lo que permite identificar equipos, procesos de mayor consumo energético y el personal relacionado con estos, de esta manera se logra establecer, mediante herramientas estadísticas, la relación entre la energía usada y la variable que provoca su consumo.

Un Diagnóstico Energético, permite identificar los puntos de mayor consumo de energía asociada a equipos y/o procesos, mediante la recopilación de información asociada a la empresa, siendo las principales actividades: analizar el uso y consumo de la energía, identificar áreas de uso y consumo significativo de energía e identificar oportunidades de mejora de desempeño energético (ver Figura 25) [14]:

1. Analizar uso y consumo de energía: a través de la evaluación de consumos pasados y actuales por medio de facturas de energía o registro de medidores internos, identificando las diversas fuentes de energía que se dispongan.
2. Identificar áreas de mayor consumo de la energía: de acuerdo al uso de recursos energéticos que necesita determinada área, maquinaria, proceso y el personal asociado que trabaja en o para estos. Realizando diagramas energéticos por áreas y procesos, mapas de procesos, balances energéticos generales o específicos, inventario de maquinaria y diagramas productivos.
3. Oportunidades de mejora del desempeño energético: identificar las posibles mejoras y priorizar la realización de todas aquellas acciones que conduzcan

a mejorar la eficiencia dentro de la organización. En este sentido se pueden considerar como una opción, la utilización de fuentes de energía alternativas.

**Figura 25.** Diagrama conceptual del proceso de Planificación Energética. Fuente: mejorada de [14].



De esta forma, el Diagnóstico Energético se compone de las siguientes actividades: Balance Energético General de la Organización, Análisis del Uso y Consumo de la Energía, Identificación del Uso Significativo de la Energía y Oportunidades para Mejorar el Desempeño Energético. Estas actividades hacen parte de la Revisión Energética según NTC-ISO 50001 (ver Figura 23).

### 2.2.3. Implementación y Operación del SGE

La organización recopila toda la información procesada en la Planificación Energética, para implementar los Planes de Acción y el SGE, involucrando activamente a todo el personal, que estarán separados por funciones asignadas de acuerdo a los conocimientos que le permitan cumplir con los requisitos del SGE. Se deben realizar campañas de sensibilización en la utilización de los recursos y el impacto que tendría la realización de prácticas inadecuadas en la organización [14].

### 2.2.4. Verificación del SGE

Comprende el seguimiento, medición y análisis de las acciones u operaciones que se llevan a cabo durante el ciclo PHVA, en periodos determinados. Los instrumentos de medición desempeñan una labor clave en esta etapa, deben garantizar información clara y exacta acerca de los registros y si fuera el caso, se deben calibrar periódicamente para asegurar su correcto funcionamiento. Esta información sirve de base para que las organizaciones realicen auditorías internas con las cuales se asegure el correcto funcionamiento del SGE (ver Figura 26) [14].

**Figura 26.** Diagrama conceptual del desempeño energético. Fuente: [14].



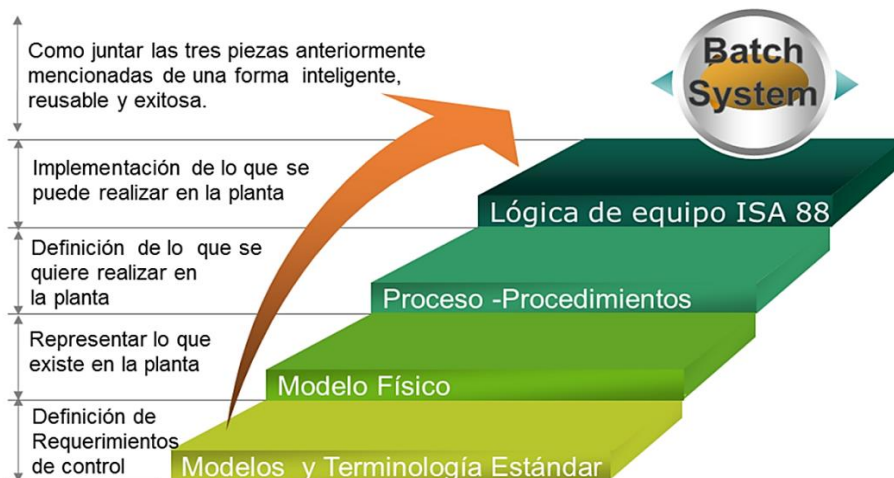
### 2.2.5. Revisión del SGE

La alta dirección de la organización es la encargada de revisar durante intervalos de tiempo periódicos el funcionamiento del SGE, para ello es necesario verificar el desempeño energético, detectar las barreras que impiden el óptimo funcionamiento del SGE y garantizar el cumplimiento de los objetivos propuestos [14].

### 2.3. ESTÁNDAR ISA-88

Utilizado para diseñar e implementar sistemas de control por lotes, aunque como dicen los expertos en el tema, es toda una filosofía de diseño, aplicada principalmente en plantas de fabricación o de producción por lotes. Se encuentra dividido en cuatro partes y cada una de ellas se puede tomar como un estándar en sí, de aplicación específica e independiente, permitiendo tener una información global de la planta, que involucra requerimientos de control, activos físicos e información de producción (ver Figura 27).

**Figura 27.** Resumen del estándar ISA-88. Fuente: [59].



ISA-S88 consta de las siguientes partes:

- ISA-S88.01: Modelos y Terminología.
- ISA-S88.02: Estructuras de Datos y Directrices para Lenguajes.
- ISA-S88.03: Representación y Modelos de Recetas de Sitio y General.
- ISA-S88.04: Registro de Producción de Lotes.

La primera parte del estándar ISA-88, llamado ISA-S88.01, es un estándar para modelos y terminología, generalmente aplicada como guía principal en sistemas de control por lotes, pero sin especificar los pasos a seguir para implementar sus definiciones, estructuras, etc., dando libertad para que se pueda realizar su aplicación. En la literatura se encuentran trabajos relacionados con casos de estudio, donde se ha aplicado el estándar, generando guías de implementación, que indican una serie de pasos para su ejecución [34], [5], [52] y metodologías bien elaboradas para su implementación [29].

### **2.3.1. ISA-S88.01**

Primera parte de ISA-S88, describe la terminología y modelos que se utiliza en la industria, de forma que se genere un lenguaje común en los sistemas de control por lotes, convirtiéndolo en el estándar de mayor difusión y aceptación en la industria, proporcionando una base para una comunicación correcta, entre proveedores y usuarios. Entre sus ventajas se encuentra su relativa sencillez, su estructura metodológica, entre otras [61]. ISA-S88.01 presenta los siguientes modelos:

- Modelo Físico: identifica y jerarquiza los activos físicos de la empresa.
- Modelo de Control de Procedimiento: identifica y jerarquiza la secuencia de ejecución de las tareas de producción.
- Modelo de Proceso: refleja estructura jerárquica de ejecución de actividades de producción especificando plataformas físicas donde serán ejecutadas.
- Modelo de Actividades de Control: relaciona y define las actividades que se deben realizar en la administración de un proceso de producción.

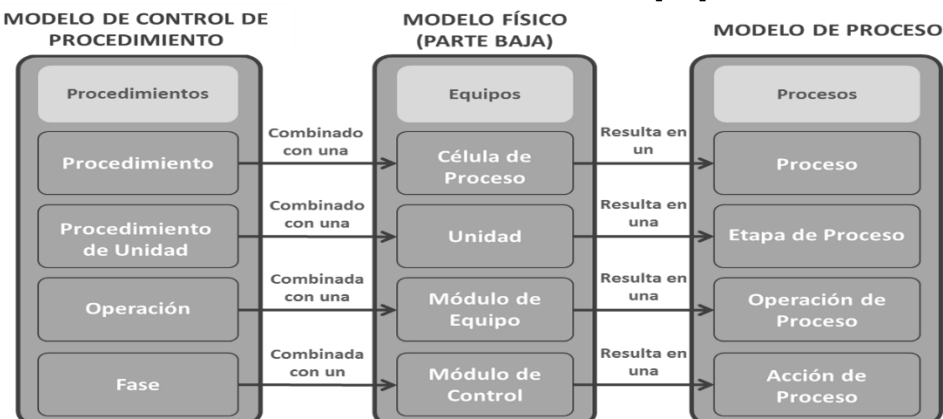
De los anteriores modelos, se rescatan los tres más importantes para la industria: Modelo Físico, Modelo de Procesos y Modelo de Control Procedimental. La implementación de estos modelos genera una información organizada, escrita y gráfica, de la maquinaria y equipos industriales, de lo que se fabrica y de métodos utilizados para realizar esa fabricación, respectivamente. Para la implementación de estos tres modelos, se propone una serie pasos, según Holy y Pozivil [34]:

1. Definir límites entre célula(s) de interés y el resto del sitio o área.
2. Establecer la definición de trenes y etapas de proceso.

3. Identificación de unidades de proceso.
4. Clasificar todas las unidades y conexiones dentro de las clases de proceso y las clases de transferencia.
5. Identificación de fases de procesos específicas (clases de proceso) y fases de transferencia (clases de transferencia).
6. Producir un controlador de lógica de fase y módulos de equipo conectados.
7. Definir los módulos de control y sus elementos.
8. Definición y descomposición del modelo de control procedimental, usando los resultados de los pasos anteriores, especialmente las fases.
9. Establecer procedimientos de unidad, usualmente relacionados con las etapas y clases de proceso definidas anteriormente.
10. definición de operación de ISA-S88, es muy general y subjetiva. Permite diferentes explicaciones e implementaciones.
11. Utilizar las fases definidas anteriormente, para implementar acciones de procesos demandados.
12. Establecer los pasos para implementar las fases definidas.
13. Fijar acciones para implementar los pasos anteriormente.
14. Paso de “depuración”, que permite regresar a las definiciones previas y modificarlas o agregar nuevas.

Para el Modelo Físico se utilizan los pasos 1 hasta 7 y para el Modelo de Control de Procedimiento se utilizan del 8 hasta 14. Luego se podría obtener el Modelo de Proceso, esto será importante a la hora de realizar el levantamiento de la información de forma sistemática y organizada (ver Figura 28).

**Figura 28.** Relación de los Modelos ISA-S88. Fuente: [59].





Para el presente trabajo, sólo se hará uso de esta parte del estándar, con el objetivo de proponer un procedimiento que permita hacer un levantamiento de información de piso, que alimentará el Diagnóstico Energético del proceso de Planeación Energética, el cual es la base para la implementación de un SGE, que cumple con la norma NTC-ISO 50001.

## **2.4. ESPECIFICACIONES DEL MODELO PROPUESTO**

Como resultado de la investigación sobre EE (capítulo 1 y secciones 2.1, 2.2, y 2.3), que recapitula la documentación relevante correspondiente a modelos, normas y estándares relacionados con EE, analizando minuciosamente sus similitudes y diferencias enmarcadas en cada etapa, aportes que proponen los modelos posteriores a la publicación de la norma NTC-ISO 50001, etc., a continuación se expone una serie de especificaciones que debe contener el modelo propuesto de análisis y estudio de la EE para el sector industrial:

1. El modelo debe estar respaldado por la reglamentación legal establecida por el Estado colombiano acerca de los procedimientos, incentivos tributarios y límites para el desarrollo de prácticas de EE.
2. La formulación del modelo de EE propuesto debe ser complementaria a la norma NTC-ISO 50001, enfocándose en las falencias de esta. La norma propone los requisitos para la gestión de los recursos energéticos y da libertad al cómo implementar un SGE, pero no hace referencia específica para la implementación de ello, ni para el levantamiento de información de base, ni para mediciones de EE en los procesos [13].
3. El modelo presentará una estructura basada en la forma general de NTC-ISO 50001, orientando el procedimiento a seguir con el fin de conseguir los objetivos y metas energéticas de la organización, de tal manera, que guíe a los lectores con una serie de procedimientos y actividades.
4. El modelo debe ser aplicable a cualquier industria, independientemente de sus condiciones geográficas, económicas y socioculturales; adecuándose a los requisitos y necesidades particulares de cada una de ellas.
5. El modelo debe incorporar metodologías o herramientas, respaldadas por normas o estándares, que permitan capturar la información de la industria a nivel de piso para la Planificación Energética, específicamente en el procedimiento de Revisión Energética, comprendido en el ciclo PHVA, propuesto por la norma NTC-ISO 50001.
6. El modelo debe ser diseñado para promover el uso de técnicas y herramientas en cada una de las actividades que comprende los procedimientos y procesos propuestos.

7. El modelo debe generar unos IE que permitan monitorear y verificar el desempeño energético de la organización, respecto a su producción y/o consumo energético, cumpliendo con los IDEs de NTC-ISO 50001.
8. El modelo se debe apoyar en unas guías especializadas de buenas prácticas de EE industriales, que contienen información técnica especializada, a utilizar como base de referencia para la información levantada para el modelo.
9. El modelo debe sugerir la implementación de tecnologías, para establecer, monitorear, supervisar, controlar y mejorar un SGE, como *Smart-grids* u otras, enfocada hacia la gestión energética, que permitan controlar el estado en que se encuentra el desempeño energético de la organización [60].

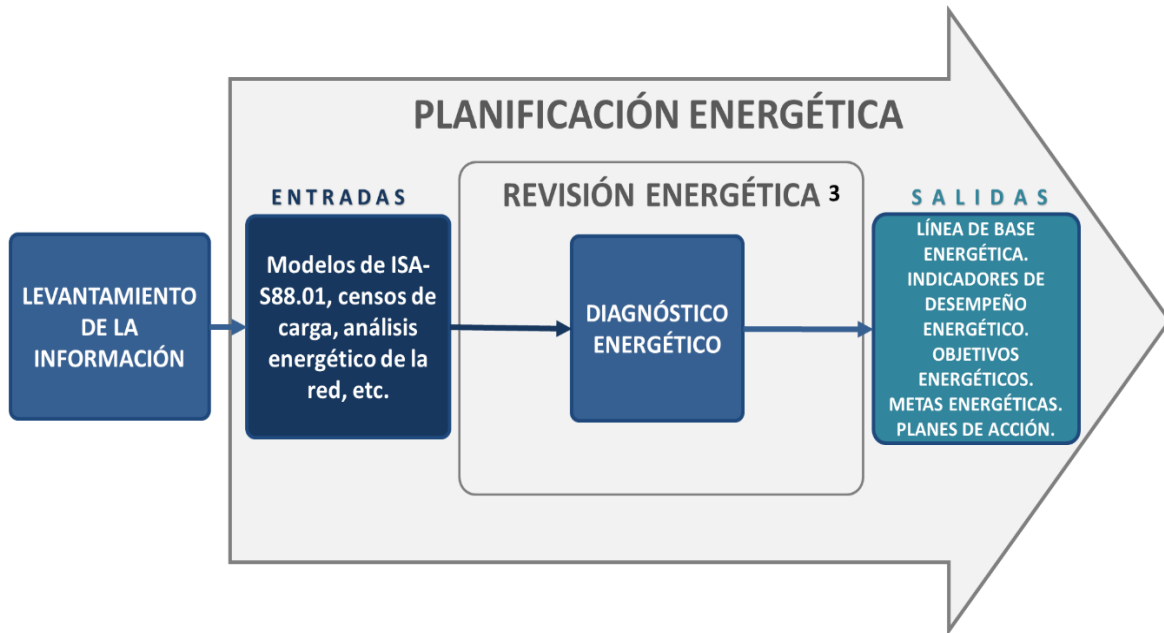
A partir de las especificaciones anteriores, se propone un modelo inicial de estudio y análisis de la EE para la industria, enfocado en el proceso de Planificación Energética, descrito en la norma NTC-ISO 50001, del cual, el procedimiento de Revisión Energética es el más importante para el presente trabajo. La Planificación Energética necesita de dos tipos de información, uno está relacionado con los procesos de producción y el otro con el uso y consumo de la energía, realizando esta pequeña clasificación, se encuentra que:

- Información de procesos de producción: abarca los activos físicos, personal, procesos, procedimientos, etc., de la industria, lógicamente, dejando por fuera la información energética.
- Información uso y consumo de la energía: todo lo relacionado con el desempeño energético de la industria, al interior y al exterior de la planta o empresa. Abarca información desde el operador de red, instalaciones eléctricas, recursos energéticos, uso y consumo de la energía, etc.

Es así como en el modelo de estudio y análisis de la EE se propone inicialmente un procedimiento de levantamiento de información, que utiliza diferentes herramientas como: modelos de ISA-S88.01, censos de carga, análisis energético de la red, etc., para generar las entradas que alimentan la Revisión Energética y generan una salida de información procesada, que comprende los procedimientos de Línea de Base Energética, Indicadores de Desempeño Energético, Objetivos Energéticos, Metas Energéticas, Planes de Acción, y finalizando con la Documentación del Proceso de Planeación (ver Figura 29).

Un diagnóstico energético permite conocer el estado real de la industria a nivel energético, identificando potenciales de ahorro, oportunidades para mejorar procesos y desempeño energético, permitiendo enfocar el trabajo en donde se tiene un mayor impacto energético de la industria, obteniendo buenos resultados en un menor tiempo, por ello, se propone un procedimiento de Diagnóstico Energético que abarca las actividades de: balance general de la organización, análisis del uso y consumo de la energía, identificación del uso significativo de la energía y oportunidades para mejorar el desempeño energético, que hacen parte de la Revisión Energética (ver Figura 23).

**Figura 29.** Diagrama de entradas y salidas del modelo de estudio y análisis de la EE propuesto. Fuente: propia, junio de 2016.



De esta forma, se simplifica la revisión energética para industrias en donde las actividades mencionadas anteriormente, no requieren de grandes esfuerzos y/o es necesario conocer rápidamente su estado energético; pero para los casos en donde esas mismas actividades requieren de mayor trabajo para el diagnóstico energético, se ejecutan de manera más extensiva y profunda, como lo indica NTC-ISO 50001.

Para realizar el levantamiento de la información necesaria, que alimenta el proceso y los procedimientos anteriores, se definirán una serie de procedimientos y actividades que apoyen y orienten a las empresas desde sus niveles más bajos, para la toma de información sistemática y organizada, como consecuencia del análisis de las brechas que se consideran más representativas dentro del contenido de la norma NTC-ISO 50001, en la cual se pretende hacer un aporte con la ayuda del estándar ISA-88, partiendo de la premisa, que en la mayoría de las empresas no existe una documentación de procesos y activos físicos de la planta, algo de vital importancia para los industriales.

### **3. DISEÑO DE UN MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA INDUSTRIAL**

El modelo de estudio y análisis de la eficiencia energética para la industria (MEAEI), propone una serie de pasos y procedimientos, involucrando actividades en conjunto con el compromiso de la alta gerencia de la organización y sus empleados, permitiendo reducir el consumo energético a través de la mejora de maquinaria, procesos de la industria, información energética, etc., encaminados a la gestión de la energía y mejorando el desempeño energético y a su vez, la competitividad de estas, todo enmarcado dentro de la reglamentación legal colombiana en cuanto a prácticas de EE.

El MEAEI resulta del análisis de modelos y normas estudiadas en capítulos anteriores y de las especificaciones propuestas en el capítulo 2, que permitieron detectar brechas y debilidades en las que se pretende hacer el aporte. La estructura del modelo se mantiene dentro de la forma general que presenta la norma NTC-ISO 50001, enfatizando en procedimientos y actividades propuestas del proceso de Planificación Energética, con enfoque en la etapa de Revisión Energética. El levantamiento de información, requerida por el modelo propuesto y que alimenta las actividades de NTC-ISO 50001, para el estudio y análisis de la EE de una industria, se apoya en el estándar ISA-88, aportando una toma de información estandarizada para la implementación del MEAEI en cualquier industria.

También se apoya en guías de buenas prácticas de EE recomendadas para la industria, estas pueden involucrar cambios y/o mejoras en equipos y maquinaria industrial, en instalaciones eléctricas y calidad de la energía, tanto al interior como en el exterior de la planta, en procesos de la industria y en, hábitos y prácticas del personal que labora en ella.

#### **3.1. DISEÑO DEL MEAEI**

Gracias al estado del arte (capítulo 1 y 2) sobre modelos de EE y documentos afines, se propone la división o aplicación del MEAEI en cuatro ejes, siendo estos los de mayor impacto energético en una industria, por lo que generando un mayor trabajo en estos ejes, se logra mejorar la EE en la industria (ver Figura 30).

Los cuatro ejes, también se proponen para que cualquier industria sepa donde enfocar el trabajo inicial, con lo cual de entrada se tiene una idea clara para comenzar con la implementación del MEAEI, proyectado hacia una futura implementación de un SGIE. A continuación se presentan los ejes del MEAEI:

1. Equipos industriales.
2. Instalaciones eléctricas y calidad de la energía.
3. Procesos industriales.
4. Hábitos y prácticas industriales.

**Figura 30.** Ejes del Modelo de Estudio y Análisis de Eficiencia Energética para la Industria. Fuente: propia, septiembre de 2016.



Estudiar la industria es complejo, debido a la diversidad de la misma, de sus procesos, de la calidad del personal que trabaja, etc. Cada uno de los ejes propuestos para el modelo MEAEEI, en sí mismo, es un área difícil con muchas aristas que requiere un manejo especial. Por ejemplo, en el caso de los equipos y maquinaria industrial estos se encuentran disponibles con diversas fuentes energéticas de funcionamiento: vapor, gas, electricidad, etc. Independiente de lo complejo y multifacético de cada uno de los ejes propuestos para el modelo, la falta de información industrial confiable, registrada en forma metódica, es una de las principales dificultades encontradas en la mayoría de industrias. Para solventar esta situación, el modelo se apoya en ISA-S88.01 para la toma de información y, claro está, en NTC-ISO 50001 para el estudio y análisis de esa información, encaminada a la gestión energética y EE dentro del ciclo PHVA.

El diagrama general del modelo MEAEEI, se soporta en el ciclo PHVA de NTC-ISO 50001, centrado en el proceso de Planificación Energética, que involucra los procedimientos de:

1. Revisión General de la Organización.
2. Requisitos Generales de Planificación.
3. Revisión Energética.
4. Línea de Base Energética.
5. Indicadores de Desempeño Energético.
6. Objetivos Energéticos.
7. Metas Energéticas.

8. Planes de Acción.
9. Documentación del Proceso de Planificación.

Siendo el procedimiento de la Revisión Energética, el enfoque del presente trabajo. El levantamiento de información abarca los cuatro ejes del MEAEEI, donde se utiliza ISA-S88.01 y otras herramientas, alimentando las actividades de Diagnóstico Energético, el cual es el encargado de procesar esta información y luego realizar la Actualización y Documentación de la revisión energética. Al hacer este procedimiento de forma adecuada, se genera una Línea de Consumo Energético, resultado del análisis del uso y consumo de la energía; un Listado de Acciones, que tienen asociados unos IE; se recomienda organizar estos indicadores de mayor a menor impacto energético en la industria. A partir de estas tres actividades, es posible tener una información que alimentará a los procedimientos de Línea de Base Energética, Planes de Acción e Indicadores de Desempeño Energético, los cuales, no necesariamente son iguales a la Línea de Consumo Energético, Listado de Acciones e Indicadores Energéticos, respectivamente. Esto no implica que no sea necesario realizar los demás procedimientos: Objetivos Energéticos, Metas Energéticas y Documentación del Proceso de Planificación, ya que para hacer un SGE que cumpla con NTC-ISO 50001 es necesario cumplir con todos los procesos, procedimientos y actividades de esta norma (ver Figura 31).

La propuesta del MEAEEI, soportado en los cuatro ejes, hace necesario contar con guías especializadas de prácticas de EE industriales<sup>1</sup> organizadas para cada eje, la definición de las mismas se presentan a continuación:

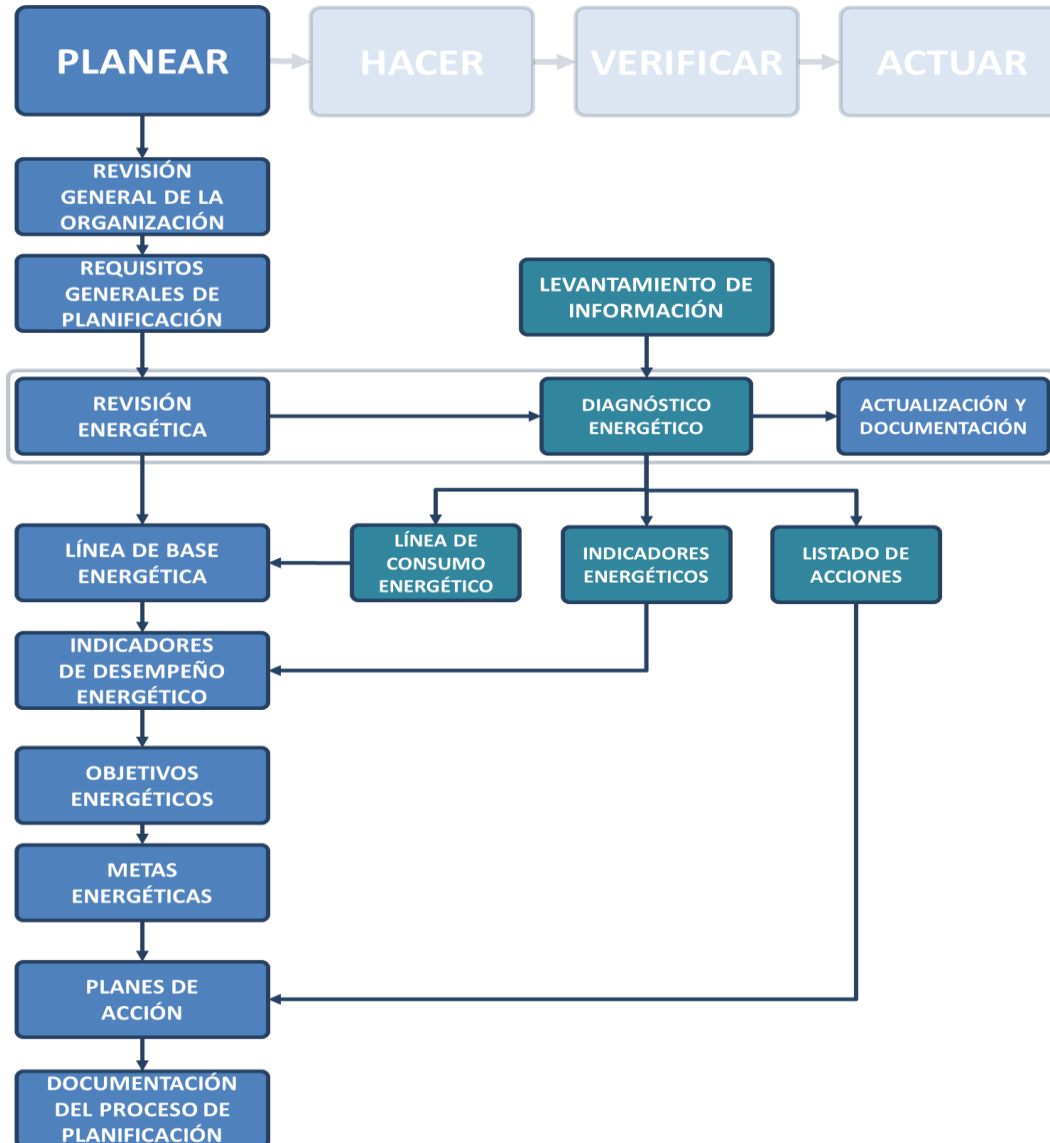
1. **Guía de IE&CE:** recopila información técnica de buenas prácticas usadas en las instalaciones eléctricas industriales y los niveles de calidad de la energía necesarios para la industria. Puede estar respaldado por normas, reglamentos, etc., tales como el RETIE y RETILAP si fuera necesario.
2. **Guía de Equipos:** presenta la información suministrada por los fabricantes de equipos, Modelo Físico, etc., como referencia para el correcto funcionamiento de la maquinaria industrial.
3. **Guía de Procesos:** presenta información de los procesos típicos de una industria, para el caso de este trabajo, se presenta la información de los procesos de una industria del plástico, que dice en detalle cómo están documentados y cómo deben ser llevados a cabo, de acuerdo a las características que presenta el fabricante de los equipos, que determinan las acciones de proceso que se deben llevar a cabo; por tanto, se incluye el Modelo de Proceso y el Modelo de Control Procedimental. Para cada industria debe haber una guía especializada, ya que, incluso dentro de una misma industria, cada empresa tiene variantes, que es preferible que

---

<sup>1</sup> Estas guías de prácticas de EE industriales, es una información altamente especializada que esta por fuera de los alcances del presente trabajo, pero que es un insumo fundamental para el modelo M propuesto.

cada una documente sus propios procesos. Es necesario, además, la participación de un experto, ya sea interno o externo a la empresa, encargado de revisar y analizar la información.

**Figura 31.** Diagrama general del MEAEEI. Fuente: propia, julio de 2016.

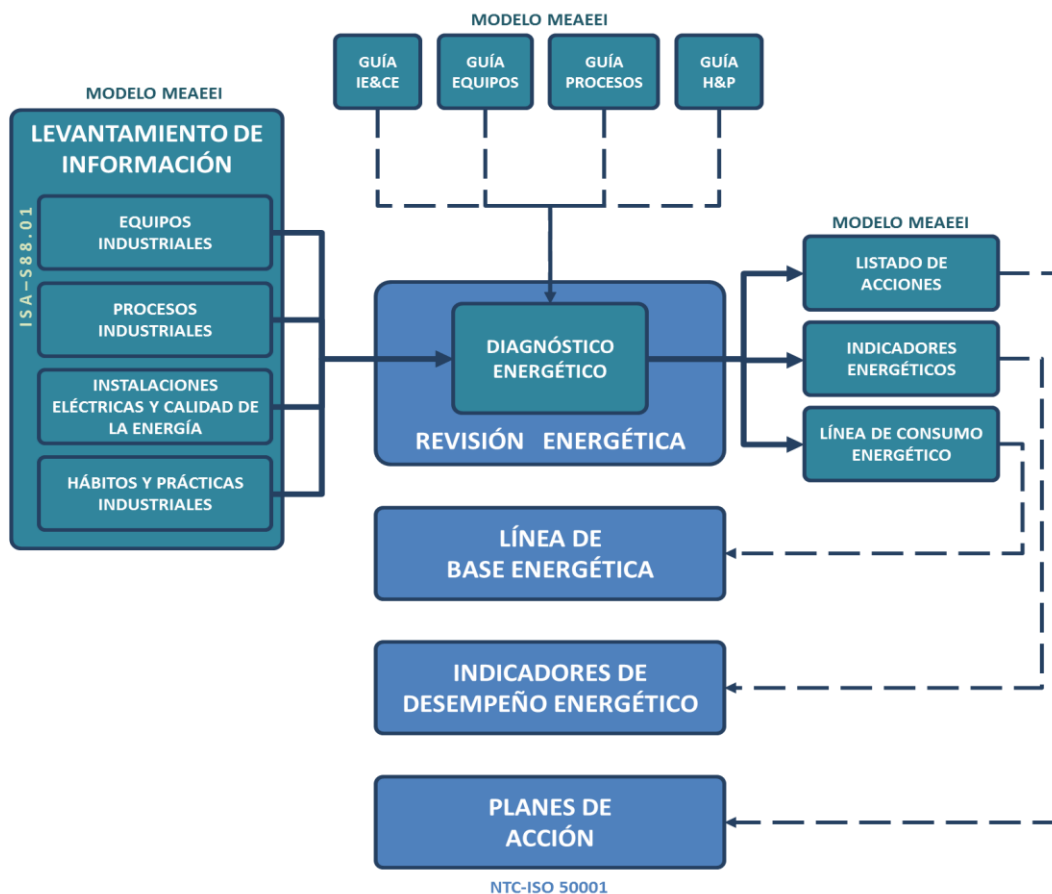


4. **Guía de H&P:** presenta una información de buenos hábitos y prácticas industriales, generando acciones e indicadores, encaminados a la mejora de los procesos involucrando directamente al personal. Esta guía, está estrechamente relacionada con la Guía de Procesos, siendo una base para la guía de H&P. También se hace necesario de un experto.

Al tener la información de la planta y cruzarla con estas guías especializadas de prácticas de EE industriales, se generan acciones, encaminadas a mejoras en la empresa, tanto en los procesos como en el uso y consumo de la energía, e

indicadores para monitorear los resultados de implementar estas acciones. Es así como las tres actividades resultantes del diagnóstico energético, se utilizan para alimentar los procedimientos de Línea de Base Energética, Indicadores de Desempeño Energético y Planes de Acción, del proceso de Planificación Energética. De esta forma, se pueden obtener resultados rápidos, que al implementarlos generen beneficios energéticos y de producción a la empresa (ver Figura 32).

**Figura 32.** Diagrama de flujo de información de la Revisión Energética de acuerdo al MEAEEI. Fuente: propia, septiembre de 2016.



La Línea de Base Energética, los Indicadores de Desempeño Energético y los Planes de Acción, son procedimientos especializados que requieren un mayor trabajo y por tanto, mayor inversión de tiempo y recursos por parte de la organización. La aplicación del Diagnóstico Energético ahorra tiempo y recursos, por lo cual es ideal para las pequeñas industrias.

### 3.2. DISEÑO DE UNA GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MEAEEI

Esta guía define una serie de pasos específicos, relacionados con factores que están presentes en la industria del plástico y que pueden ser generales a cualquier industria, enmarcados en los cuatro ejes del MEAEEI (ver sección 3), sustentados



en la norma NTC-ISO 50001 y el estándar ISA-88.01, además de la integración de estos factores mediante la gestión energética y cambios tecnológicos, en pro de mejorar la EE, que se traduce en el aumento de la productividad.

El objetivo de implementar esta guía, es conocer el estado energético de la empresa, identificando sus recursos energéticos, asociados y no asociados a la producción, áreas, procesos y equipos donde se utilizan, el personal involucrado; documentar los procesos, mejorar su EE y productividad.

Antes de finalizar cada paso de la presente guía, se debe realizar la documentación del paso en ejecución, registrándolo todo, metodología utilizada, información levantada, resultados obtenidos, periodos de actualización, etc., apoyándose en herramientas software y registros en papel.

### **3.2.1. Paso 1: realice una revisión general de la organización**

Para la implementación del MEAEEI, lo primero es reunirse con la gerencia de la organización, en este caso de la empresa, con el fin de tener un primer conocimiento general, a partir de la información sobre el sector de la industria en el que trabajan, la planta industrial, los procesos de producción, los productos que fabrican, los equipos, operarios, etc., con lo cual se genera un vistazo general de la empresa. Lo segundo es tener un primer conocimiento del uso y consumo de los energéticos de la industria, con el fin de saber el estado en que se encuentra sobre gestión energética y demás, que involucre al operador de red y a la industria en particular. Se hace la aclaración de que esta información es necesaria para tener una idea general, de bajo detalle, ya que los pasos siguientes son los encargados de realizar los procesos, procedimientos y actividades necesarias para obtener información de alto detalle.

Después de entrevistarse con la gerencia de la empresa, se realiza una visita técnica, para conocer el lugar donde se realizan los procesos de fabricación, entrevistándose con operarios, conociendo los equipos y elementos industriales, para tener una primera idea de los procesos y maquinaria, la calidad de la energía suministrada por el operador de red y las instalaciones eléctricas del lugar. En caso de que la empresa tenga varios sitios o áreas industriales, lo anterior se debe hacer para cada uno de esos sitios o áreas.

Dentro de los requisitos generales de planificación, están los legales y otros requisitos que hacen referencia a aquellos que la organización suscriba con otras organizaciones, este paso es de vital importancia para poder seguir con los demás, pero la empresa o industria es quien decide cómo ejecutar esta parte, por ello se salta este paso en esta guía.

### **3.2.2. Paso 2: efectúe un levantamiento de información**

A partir de la información general sobre los procesos industriales y el uso y consumo de la energía (ver sección 3.2.1), se realiza un levantamiento de información con el enfoque de los cuatro ejes propuestos por MEAEEI, aunque a comienzos del

capítulo 3, estos ejes son presentados en el orden de importancia dentro de la industria, en este paso se pueden efectuar de acuerdo a las características o necesidades de la industria. En este paso se genera gran cantidad de información del uso y consumo de la energía, procesos, procedimientos y activos físicos, que son necesarios para alimentar los ejes del modelo propuesto y los procedimientos de la norma NTC-ISO 50001.

### **3.2.2.1. Procesos industriales**

Con el levantamiento de la información del paso 1 y de este primer eje, es posible generar mapas de procesos energéticos y diagramas productivos, en caso de ser requeridos por la empresa. A continuación se presenta lo más importante que se debe tener y que se utilizará en los siguientes pasos:

- Planos: es deben de tener planos arquitectónicos y eléctricos de la empresa, que luego serán modificados de acuerdo a las necesidades de los cuatro ejes del MEAEEI.
- Entrevistas: se realizan reuniones el personal encargado e involucrado con los procesos industriales, principalmente operarios, con el fin de documentar los procedimientos de este personal en los procesos y equipos, además, esta información sirve para alimentar el eje de hábitos y prácticas industriales (ver sección 3.2.2.4).
- Diagrama de flujo de proceso: a partir del paso 1, se identifican los procesos principales de la empresa y se realiza un PFD para cada uno de ellos.
- Modelo de Proceso ISA-S88.01: los PFD son el insumo para obtener estos modelos, cada PFD genera un modelo de proceso, se utiliza el estándar ISA-88.01 para realizar este modelo.
- Modelo de Control Procedimental ISA-S88.01: con toda la información recopilada anteriormente, se realiza este modelo, sin embargo, la información documentada de los procedimientos realizados por los operarios en los procesos industriales, deberá ser estudiada y analizada por expertos.
- Inventario de productos: es un registro en donde se consigna la información de los productos que fabrica la empresa, registrando las características más importantes, de ser posible, los ciclos de producción, cantidad de unidades producidas, material utilizado y consumo de la energía.

### **3.2.2.2. Equipos industriales**

Este eje se enfoca en levantar la información de la maquinaria y equipos utilizados en la empresa, principalmente y generalmente, necesarios para la producción de los lotes. A continuación se presenta las herramientas que se realizan:

- Modelo Físico ISA-S88.01: se identifican sitios, áreas, procesos y equipos de la empresa, con el fin de aplicar este estándar a todos los activos físicos de

la empresa; se puede aumentar la toma de información del estado de los equipos y máquinas, para saber la protección que tienen contra efectos del medio ambiente.

- Inventario de equipos industriales: se realiza un inventario en donde se consigan la información de toda la maquinaria utilizada en la empresa, utilizada en las diferentes áreas y procesos, agregando información como la de las placas de motores, información de consumo o energía de funcionamiento, tiempo de trabajo, energéticos utilizados, etc. Este inventario es complementado con los demás ejes.
- Determinar las características de maquinaria y equipos eléctricos: se recomienda realizar las pruebas de la IEEE para tener un conocimiento más detallado del estado de los equipos eléctricos y de sus componentes, por ejemplo, para resistencia esta IEEE Std 118-1978 e IEEE Std 389-1996, para Inductancia esta IEEE Std 388-1992 e IEEE Std 120-1989, etc., esto también es un soporte para las relaciones de costo-beneficio que se deben tener en cuenta en las decisiones de compra o reemplazo de equipos y sus elementos (en el Anexo 1 Guía Especializada de prácticas de eficiencia energética industriales, se aborda más sobre el tema).

### **3.2.2.3. Instalaciones eléctricas y calidad de la energía**

Una herramienta de análisis de red es útil para conocer el estado de la red eléctrica y la calidad de la energía suministrada, esto al interior y al exterior de la empresa, por ejemplo, el analizador de red de Dranetz es una excelente herramienta para este procedimiento, de gran importancia para realizar mediciones antes, durante y después de la implementación del MEAEEI. El levantamiento de información está centrado en:

- Base de datos de facturas: con las facturas que entregan los operadores de red, se obtiene información histórica de uso y consumo de la energía, actualmente, existen operadores de red que instalan medidores digitales, los cuales guardan mucha información, pero la instalación de estos depende de la empresa, por lo cual, no es común encontrarlos en pequeñas y medianas industrias y menos que tengan información histórica de grandes periodos de tiempo; lo ideal es tener una base de datos con información energética de diferentes periodos de tiempo o histórica de la empresa, principalmente, de sus plantas industriales.
- Censo de carga: cada empresa puede manejar un formato de censo de carga propio, se recoge la información energética de los activos físicos de la planta; complementado el inventario de equipos industriales. Se debe registrar información como: tipo de energético que utiliza, potencia eléctrica, cantidad, tiempo y modo de uso, etc.
- Registro de sistemas de aire y enfriamiento: se consigna la información de estos sistemas en un formato de registro, donde se anota el consumo

asociado a las máquinas de los procesos de producción, como compresores, enfriadores de agua, entre otros [49].

#### **3.2.2.4. Hábitos y prácticas industriales**

Las entrevistas con los operarios producen una excelente información, que se complementan con los modelos de proceso y de control procedimental, de ISA-S88.01, para análisis de hábitos y prácticas del personal involucrado en los procesos productivos de la empresa. Este paso clave para tener la documentación de procesos y procedimientos industriales, que no es común encontrar en empresas pequeñas y medianas.

#### **3.2.3. Paso 3: revisión energética**

La revisión energética se inicia recopilando los datos e información de los cuatro ejes del MEAEEI, de los pasos anteriores, con el fin de realizar un diagnóstico energético que genere un listado de acciones y unos IE, para mejorar el desempeño energético de la empresa, con este procedimiento se pueden identificar las áreas y procesos donde se necesite profundizar el trabajo.

##### **3.2.3.1. Diagnóstico energético**

NTC-ISO 50001 presenta cuatro actividades principales que son resumidas en este procedimiento; este diagnóstico energético hace posible realizar estas actividades de forma “superficial” con el fin de obtener IE y listado de acciones, que son de aplicación inmediata para obtener resultados para mejorar el desempeño energético de la empresa. De esta forma se puede saber en dónde es necesario realizar un trabajo más profundo, siendo la empresa quien decide.

##### **A. Balance energético general de la organización**

Con los datos de los pasos 1 y 2, se obtiene la siguiente información:

- Diagramas de Pareto: estos diagramas pueden ser muy generales y se realizan con los inventarios y censos de carga (ver sección 3.2.2.2 y 3.2.2.3 respectivamente).
- Diagrama de Pareto de producción: partiendo del listado de productos fabricados en la empresa (ver sección 3.2.1), se seleccionan los que representan un mayor consumo energético en su fabricación, involucrando los equipos que intervienen dentro de dicho proceso.
- Diagrama energético: partiendo de la energía suministrada a la empresa hasta sus respectivos usuarios finales (ver sección 3.2.2). Si es posible, se identifican los usuarios con la cantidad de energía de entrada y de salida, si hay transformación de energía y las pérdidas debidas al proceso.
- Capacidades nominales de equipos: se determina para saber si se encuentran de acuerdo al tipo de producto que está fabricando (capacidad

de inyección, capacidad de soplado, apertura de moldes, presiones, tiempos de inyección y soplado, capacidad física de la placa para soportar el molde, entre otros).

## B. Análisis del uso y consumo de la energía

Se deben analizar los procesos de la empresa, identificando sus etapas y consumo energético, esto se realiza mediante los modelos ISA-S88.01 y su información energética (ver sección 3.2.2).

A partir de los PFD del paso 2 (ver sección 3.2.2.1), se construyen los diagramas energéticos y productivos, identificando fuentes y uso de la energía asociado a áreas y equipos, flujo de producción de los procesos, etc.

## C. Identificación del uso significativo de la energía

A partir del análisis del uso y consumo de la energía (actividad B), se identifican las áreas y equipos mayores consumidores de energía, que es el uso significativo de la energía.

Se utilizan los diagramas de Pareto, para determinar el 20% de activos físicos que consumen el 80% de los energéticos, identificando las áreas y equipos de mayor impacto energético y la forma de usar esos recursos.

Un trabajo profundo requiere de la detección de puntos críticos donde se presenta el mayor consumo energético, mediante los datos de consumo promedio e histórico dentro de un intervalo de tiempo definido para cada área y/o equipo, con lo cual se estudian los procesos de la empresa para realizar mejoras de mayor impacto [49]. Esto requiere de medidores en cada área o equipo.

## D. Oportunidades para mejorar el desempeño energético

Estas oportunidades salen del análisis de la información levantada, pero a continuación se presenta en donde se pueden encontrar las principales oportunidades:

- Las áreas y equipos de uso significativo de la energía: mejoras aplicadas en esta parte, generan beneficios inmediatos en los procesos, por ejemplo: al optimizar los recorridos de materiales dentro de la empresa, se reducen los tiempos de transporte y logística [49].
- Reorganización de planes de producción: se necesitan tener muy bien documentados, con lo cual se identifican máquinas o equipos que involucren el mayor tiempo de trabajo en un solo producto, tratando de minimizar tiempos muertos a causa de cambios de moldes, como es el caso de los procesos de soplado e inyección, dentro de un marco de organización propuesto para fechas de mantenimientos preventivos y que cumplan con la capacidad nominal del equipo [49].

- Instalación de medidores de energía: en cada equipo o máquina, genera una valiosa información de consumo por producción o producto, identificando equipos de uso significativo de energía, se generan datos con para realizar registros parciales de consumo en dichos equipos, determinándose específicamente los costos de producción asociados al equipo seleccionado. Los registros se deben hacer periódicamente, coincidiendo con la producción de las unidades o lotes, con el fin de documentar las variables que inciden directamente en el consumo asociado a dicha producción, consolidando un historial de producción (por ejemplo kilogramos por hora kgh) sobre el consumo energético (por ejemplo en kWh) [49].

### **3.2.3.2. Línea de consumo energético**

A partir del análisis del uso y consumo de la energía (ver subpaso B), se realizan las gráficas que involucran datos de consumo energético, producción y tiempo, así:

- Gráfico del consumo de la energía en función del tiempo: por ejemplo, las facturas arrojan datos mensuales del consumo energético que se grafica en función del tiempo que corresponde al periodo de facturación, esto se debe hacer en periodos de año, lo mínimo es un año. A partir de este gráfico, se tiene un promedio de la demanda energética de la empresa, periodos de mayor y menor consumo de energía, etc.
- Gráfico del consumo de la energía en función de la producción: se realiza utilizando los datos del gráfico de consumo vs tiempo, pero en este caso se grafica el consumo de la energía en función de la producción, los datos de producción deben corresponder con el mismo periodo de los datos del consumo de la energía, por ejemplo, si se utilizan las facturas mensuales, los datos de producción también deben ser mensuales. A partir de este gráfico, se obtiene el comportamiento del consumo energético frente a la producción.

Con la línea de consumo energético se conoce el comportamiento de los recursos energéticos utilizados en la empresa, si las áreas y/o equipos cuentan con medidores también es posible conocer su comportamiento. Estas gráficas son el insumo principal para la construcción de la línea de base energética.

### **3.2.3.3. Indicadores energéticos**

Con los resultados del diagnóstico energético, especialmente las gráficas de línea de consumo, se elabora una serie de IE que caracterizan el comportamiento del uso y consumo de la energía en las organizaciones. Estos indicadores dependerán en gran parte del grado de agregación o des-agregación de la información que permita evaluar el uso de la energía de forma cualitativa o cuantitativa.

Los IE en general, son importantes porque ayudarán a comprender la forma en que se utiliza la energía en cada organización, los factores que inciden directa o indirectamente sobre el consumo y relación entre la interacción humana y la EE, además de determinar el impacto que tienen las políticas y planes de acción sobre las tendencias de consumo. Es necesario identificar la información referente a los

sectores de mayor consumo y crecimiento, donde el impacto de las políticas energéticas sea mayor, con el fin de generar indicadores relevantes soportados en métodos de descomposición que cuantifiquen y separen el impacto de actividades individuales sobre la estructura general de los procesos y su consumo energético final [36].

En el caso de los IDE, estos deben ser valores cuantitativos y medibles, según lo recomienda la norma ISO 50001 [35], los cuales con ayuda de gráficos y tendencias de consumo podrán guiar acerca del mejoramiento de la EE, soportando la determinación de planes de acción.

#### **3.2.3.4. Listado de acciones**

Estas acciones resultan del análisis de la línea de consumo, los indicadores anteriores (ver secciones 3.2.3.2 y 3.2.3.3, respectivamente) y el cruce de la información de los cuatro ejes del MEAEEI con unas guías especializadas de prácticas de EE industriales (ver Anexo 1). Se considera como insumo para realizar los planes de acción, que están enfocados a la mejora del desempeño energético de la organización.

Pueden ser organizados según el efecto que tienen en el desempeño energético, siendo las acciones de mayor importancia las que lo mejoren en gran medida y de menor importancia las que poco influyan en su mejoramiento, la organización puede tener ahorros al implementar estas acciones, que en su mayoría serán de inversiones bajas o nulas, mejorando el desempeño energético de la planta industrial. Además, estas acciones están ligadas a unos IE, que dan seguimiento al efecto que tiene su implementación en la planta industrial. De esta forma se puede tener una gestión energética básica de la empresa, enfocando un trabajo inicial en estos primeros tres pasos. Así mismo, se sabe si es necesario hacer un trabajo más detallado y profundo, con lo cual se deberán hacer los pasos 4, 5 y 7, como lo establece NTC-ISO 50001.

#### **3.2.4. Paso 4: construcción de la línea de base energética**

Esta es la referencia que proporciona el estado del desempeño energético de un área, proceso o equipo específico en la organización. Dependiendo de las características y necesidades de la organización, se pueden tener una o varias líneas de base energética.

Se utiliza la línea de consumo energético, datos de consumo de energía y de producción de la empresa, utilizando la misma variable de tiempo en que se tomaron esos datos (por ejemplo, en el mismo mes), para construir esta línea de base energética. Se grafican estos datos en un diagrama de dispersión, ubicando el consumo energético en un eje (normalmente es el eje  $y$ ) y la producción en otro (generalmente es el eje  $x$ ); una ecuación matemática, generada a partir del diagrama de dispersión, se utiliza para realizar un análisis cualitativo profundo.

Esta gráfica es importante para monitoreo, control y seguimiento del uso y consumo de la energía de la organización, debido a que ayuda a encontrar potenciales de ahorro energético.

Una línea de base energética debe reflejar el desempeño energético de la organización, a partir de los IDE que se establezcan.

### **3.2.5. Paso 5: establezca unos indicadores de desempeño energético**

Los IE (ver sección 3.2.3.3), son una buena base para iniciar el proceso de obtención de IDE. Los IDE deben ser establecidos bajo el cumplimiento de la norma NTC-ISO 50001, para cada uso significativo de la energía y energético utilizado. El fin de estos IDE, es dar seguimiento, monitoreo y control del desempeño energético de un área, proceso o equipo de la empresa.

A partir de la línea de base energética, se identifican patrones de comportamiento, que ayudan a identificar IDEs, para determinar reducción o aumento de la productividad, consumo energético, etc. Con el diagrama de dispersión, se pueden identificar los productos que representan mayores y menores consumos energéticos, varando las condiciones de operación y fabricación a fin de determinar el comportamiento de los IDEs. Se sugiere fabricar el mismo producto en máquinas de similar capacidad para determinar ciclos de producción vs consumos energéticos [50] [49].

### **3.2.6. Paso 6: objetivos y metas energéticas**

Estos objetivos y metas son establecidos por la organización previamente, con el fin de cumplir con la política energética de la misma.

Los objetivos pueden ser a corto y mediano plazo. Las metas deben de estar asociadas a estos objetivos, el cumplimiento de las metas energéticas garantiza el cumplimiento de los objetivos energéticos.

### **3.2.7. Paso 7: genere unos planes de acción**

Los planes de acción son la representación práctica de los objetivos y metas energéticas de la empresa. Deben lograr el cumplimiento de las metas energéticas y por tanto, de los objetivos energéticos de la organización.

### **3.2.8. Paso 8: realice la documentación**

Es necesario realizar la documentación antes, durante y después de cada paso de esta guía, finalizando con un documento general que integre todo el proceso. Esta herramienta suministra información vital para realizar actividades, mostrar avances, cumplimiento de requisitos, comunicaciones de procedimientos, comparación, análisis de resultados, etc., que puede ser de varios periodos, en cuyo caso se tendría un archivo donde se consignan los documentos correspondientes a los diferentes periodos establecidos por la organización [14].



### **3.2.9. Paso 9: implementación opcional de tecnologías**

Este es un paso adicional, que depende de las necesidades de la organización, ya que esto puede ganar una inversión adicional. Una vez obtenidos los IDE y hecho un posterior análisis de estos datos, es necesario continuar con la supervisión y control, ya que se deben mantener los buenos resultados o realizar cambios necesarios que se consideren dentro de los Planes de Acción, etc., por ello, la supervisión, la integración de los datos, el reporte y finalmente, la toma de decisiones formar parte del ciclo.

Los sistemas de monitoreo inteligentes, dentro de un proceso industrial, se consideran la base de la gestión energética [37], para este caso de estudio, son fundamentales para el monitoreo y análisis de los datos obtenidos para el proceso de Planificación Energética, cuyos resultados servirán para identificar el estado de la EE en cada organización, donde se aplica el modelo propuesto. Las *Smart Grids* o redes eléctricas inteligentes, junto con los sistemas de monitoreo en línea, ofrecen ventajas a las organizaciones, como la transmisión e integración de información, la medición y el seguimiento bidireccional, etc., todo ello enfocado hacia el aumento de la productividad, desde la interpretación y toma de decisiones basadas en los IDE.

El cumplimiento de todos los procesos, procedimientos y actividades de NTC-ISO 50001, asegura un mejoramiento continuo de la EE y la productividad de la industria.

## **4. APLICACIÓN DEL MODELO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO**

La guía de la sección 3.2, es una ayuda para la implementación del MEAEEI, por lo que los pasos que se proponen pueden ser mejorados e implementados con otras herramientas, reglamentos, normas, estándares, etc., con que la empresa en particular esté familiarizada.

Sin embargo, el cumplimiento de todos los procesos, los procedimientos y las actividades, presentados en NTC-ISO 50001, son necesarios para obtener una certificación externa.

### **4.1. REVISIÓN GENERAL DE EPO LTDA**

La aplicación del modelo MEAEEI se realiza en la empresa EPO Ltda., ubicada en la Calle 11 #13-40 Cali, Valle del Cauca. EPO Ltda., con actividad económica, fabricación de empaques plásticos.

Cuenta con una planta industrial, en donde se encuentra la infraestructura de producción y el área administrativa, a continuación se presenta la información general de la planta (ver Anexo 2, sección 2.1):

- Personal involucrado: trabajan 9 personas, 3 son administrativos y 6 son operarios. Los administrativos trabajan en horario de oficina y los operarios en turnos dependiendo de las máquinas que estén funcionando.
- Activos físicos: están compuesto por máquinas, equipos de oficina y sistema de iluminación. Son siete máquinas, de ellas 2 son molinos, 2 son inyectoras y 3 son sopladoras. El sistema de iluminación está conformado por lámparas fluorescentes y claraboyas. Los equipos de oficina son: 1 computador de escritorio, 1 computador portátil, 1 impresora, 1 teléfono inalámbrico y 1 regulador de voltaje (ver Anexo 2, sección 2.1.1).
- Producción: la planta trabaja 24 horas continuas aproximadamente, de lunes a sábado, con excepción de la parte administrativa, que cumple con horarios de oficina (ver Anexo 2, sección 2.1.2). La producción se concentra en diferentes clases de envases, por ejemplo para lácteos, para productos de aseo personal, para útiles escolares, para recolección de desechos hospitalarios, termos y otros (ver Anexo 2, sección 2.1.2.1).

Más información sobre los productos fabricados se presenta en el Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio (ver Figura 33).

**Figura 33.** Portafolio de algunos productos fabricados en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.



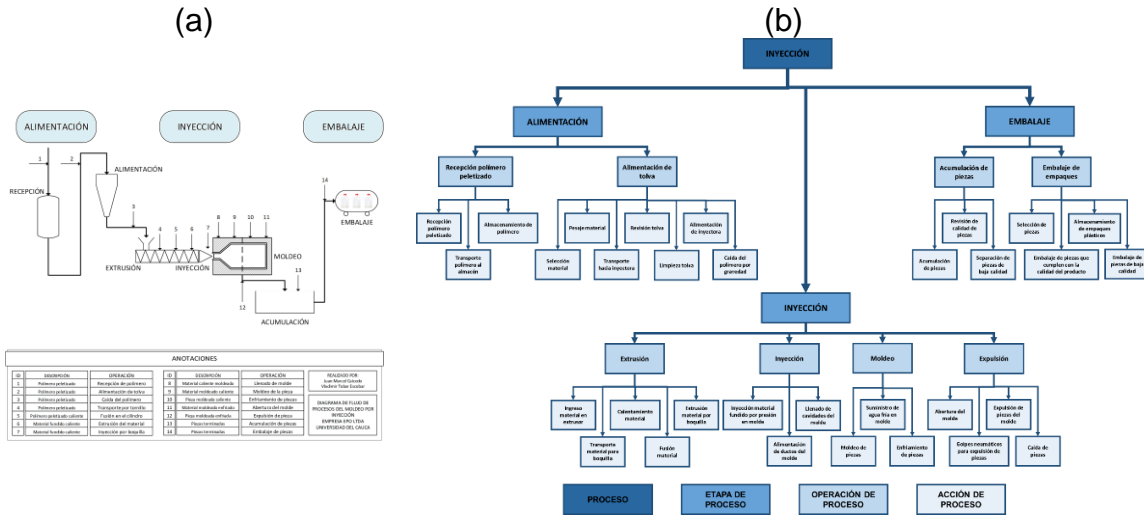
## 4.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Se realiza utilizando los cuatro ejes del MEAEEI y enfocándose en el resumen de los procesos de EPO Ltda (ver Anexo 2, sección 2.2), que son: proceso de moldeo por inyección, proceso de moldeo por soplado y proceso de molienda.

### 4.2.1. Procesos industriales

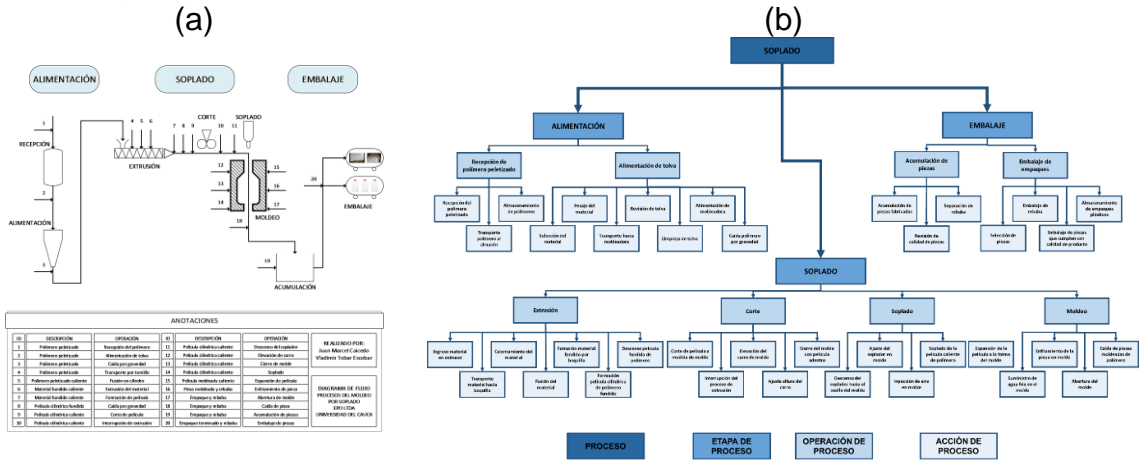
Se realiza el modelado de los procesos para obtener su respectivo PFD y modelo de proceso, que más adelante se utilizará para crear el modelo físico y la relación entre los tres modelos ISA-S88.01 (ver Anexo 2, sección 2.2.2). Para el proceso de moldeo por inyección o extrusión-inyección, se realiza un PFD y a partir de este se obtiene el modelo de proceso ISA-S88.01 (ver Figura 34). En el Anexo Aplicación del MEAEEI al caso de estudio Empaques Plásticos De Occidente Ltda., se presenta un mayor detalle de esta información (ver Anexo 2, sección 2.2.1.1).

**Figura 34.** Modelado del proceso de inyección, (a) PFD, (b) Modelo de proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.



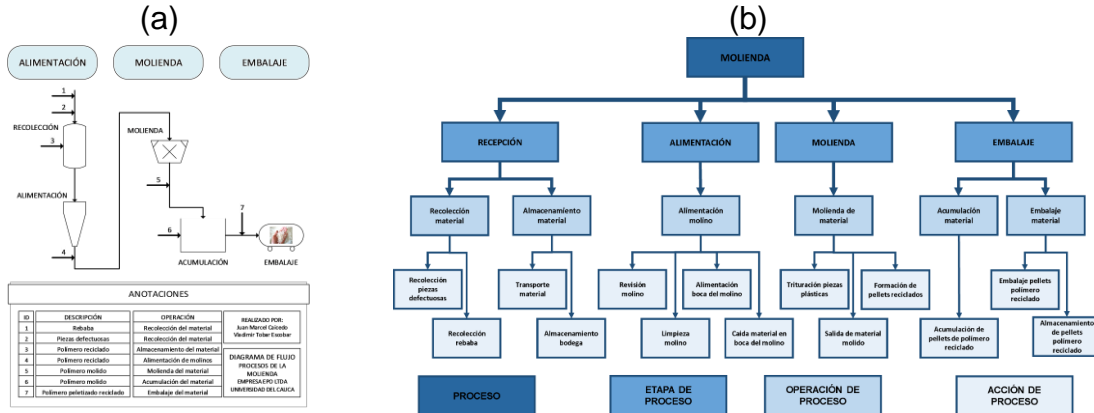
Para el proceso de moldeo por soplado o extrusión-soplado, se realiza un PFD y a partir de este se obtiene el modelo de proceso ISA-S88.01 (ver Figura 35). En el Anexo Aplicación del MEAEI al caso de estudio Empaques Plásticos De Occidente Ltda., se presenta un mayor detalle de esta información (ver Anexo 2, sección 2.2.1.2).

**Figura 35.** Modelado del proceso soplado, (a) PFD, (b) Modelo de proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.



Para el proceso de molienda, también se realiza un PFD para obtener el modelo de proceso ISA-S88.01 (ver Figura 36). En el Anexo Aplicación del MEAEI al caso de estudio Empaques Plásticos De Occidente Ltda., se presenta un mayor detalle de esta información (ver Anexo 2, sección 2.2.1.3).

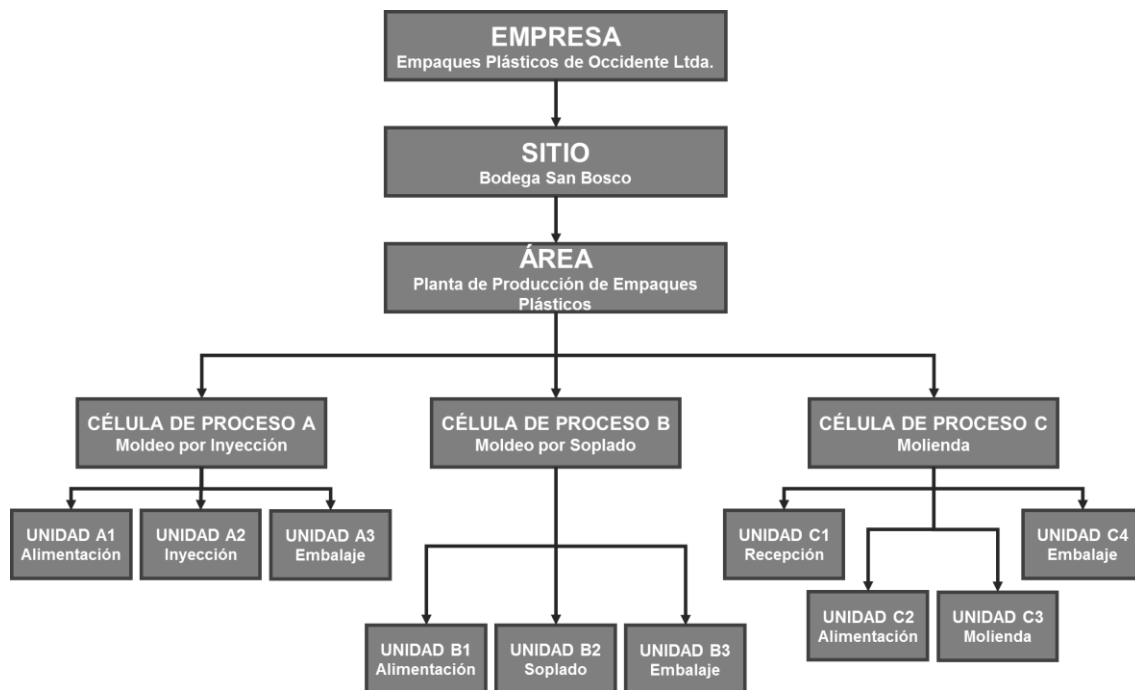
**Figura 36.** Modelado del proceso de molienda, (a) PFD, (b) Modelo de proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.



#### 4.2.2. Equipos industriales

Partiendo de la información recopilada en la Revisión General de la empresa, se realiza el modelo físico de ISA-S88.01 y la relación entre esos modelos, agregando información de equipos utilizados en producción, esta sección no hace parte de lo establecido por el estándar ISA-88, sin embargo, es un aporte valioso para realizar la Revisión Energética (ver Figura 37).

**Figura 37.** Modelo físico de EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.



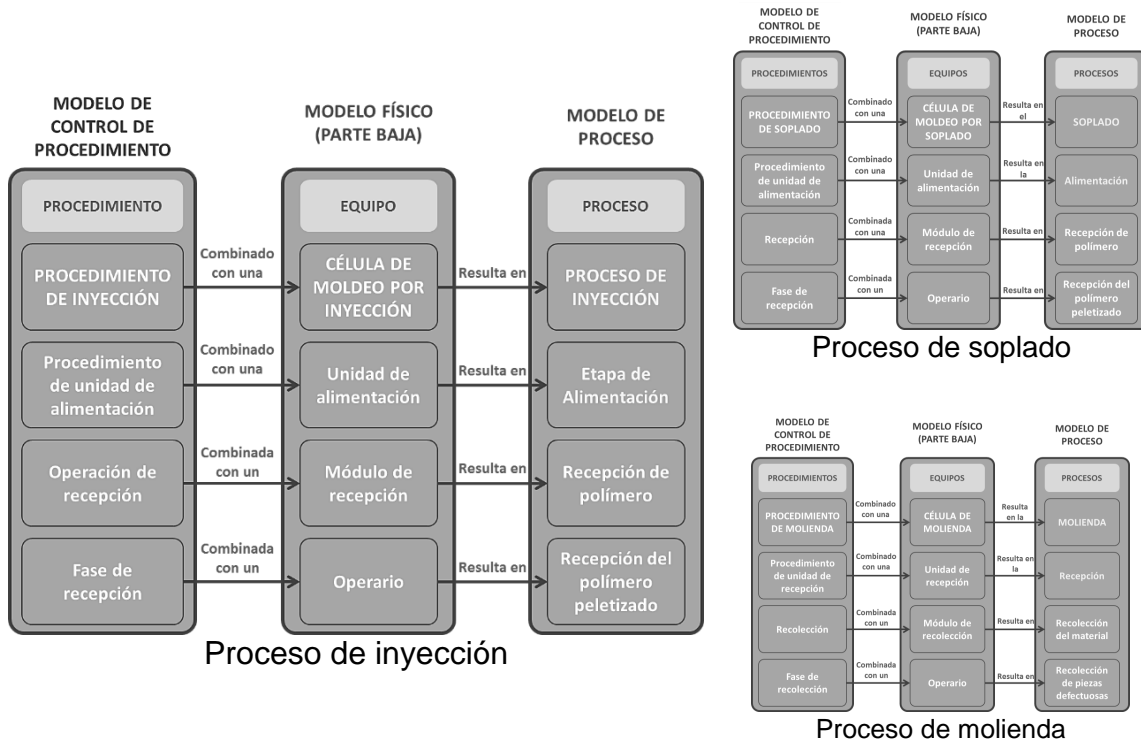
En el Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio se presenta la información completa y detallada sobre el modelo físico, a continuación se hace una descripción:

- **EMPRESA:** EPO Ltda., es la organización para el caso de estudio.

- **SITIO:** Bodega San Bosco, es el lugar en donde se encuentra la planta de producción y las oficinas de EPO Ltda.
- **ÁREA:** planta de producción de empaques plásticos. El sitio y el área están en el mismo lugar, aunque el área no abarca las oficinas de la empresa.
- **CÉLULAS DE PROCESO:** se proponen tres células de proceso, que corresponden a los tres procesos de la empresa, célula de proceso A de moldeo por inyección, célula de proceso B de moldeo por soplado y célula de proceso C de molienda, las tres células tienen como objetivo la producción de empaques plásticos.
- **UNIDADES:** las unidades corresponden a las etapas de los procesos anteriores. La célula de proceso A tiene tres unidades, la célula de proceso B tiene tres unidades y la célula de proceso C tiene cuatro unidades.
- **MÓDULOS DE EQUIPO:** a partir de este nivel, se tienen datos de mayor detalle, por lo que esta parte se consigna en una tabla, en que se presenta la información de los módulos de equipo que tiene cada unidad (ver sección 2.2.2.1 Modelo físico de la planta de producción en el Anexo 2).
- **MÓDULOS DE CONTROL:** son los equipos que llevan a cabo las acciones de control de los módulos de equipo, involucrando los módulos de control de cada uno de los procesos de EPO Ltda., (ver sección 2.2.2.1 Modelo físico de la planta de producción en el Anexo 2).
- **ELEMENTOS PRINCIPALES:** son las partes físicas más pequeñas de los módulos de equipo y los módulos de control, que cumplen alguna importante función en estos módulos, están en la máquina y se pueden: observar a simple vista, reemplazar, reparar, etc., es el mayor nivel de detalle de la información levantada. Esta sección no hace parte del estándar ISA-88, pero ha sido agregada por los requerimientos del MEAEEI ver sección 2.2.2.1 Modelo físico de la planta de producción en el Anexo 2.

Como presenta ISA-S 88.01, existe una relación directa entre los tres modelos propuestos por el estándar, a partir de esta relación se puede entender y documentar un proceso completo (ver Figura 38).

**Figura 38.** Relación entre modelos ISA-S88.01 del mismo proceso. Fuente: propia, agosto de 2016.



#### 4.2.3. Instalaciones eléctricas y calidad de la energía

Gran parte del levantamiento de la información de este eje se debe a la instalación y utilización del analizador de red Dranetz, Power Visa, facilitado por el ingeniero José Ernar Muñoz, de la compañía Gers, mediante este instrumento se recopila mucha información de la red eléctrica de EPO Ltda.

El levantamiento de información del estado de la calidad de instalaciones eléctricas sigue las recomendaciones estipuladas por la normatividad Colombiana mediante el RETIE [58], para el caso las instalaciones eléctricas industriales, anexadas dentro de la Guía Especializada EEI, en la sección 2.1.2 Instalaciones eléctricas y desarrolladas en el caso de estudio mediante el Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio, en la sección 2.2, Levantamiento de la información. Los datos de la calidad de las instalaciones eléctricas fueron los siguientes:

1. Conductores.
2. Esquemas de conexión a tierra.
3. Censo de carga.
4. Consumo de iluminarias.

En el caso del levantamiento información acerca de la calidad de potencia eléctrica suministrada, se siguieron algunos lineamientos de las normas nacionales e internacionales relacionadas con los fenómenos asociados a la CPE, contemplados en el Anexo 1 Guía especializada de prácticas de eficiencia energética industriales, sección 1.2.2 potencia eléctrica y desarrollada para el caso de estudio en la sección 2.2.3, instalaciones eléctricas y calidad de energía Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio Empaques Plásticos de Occidente Ltda. Los fenómenos de CPE estudiados son los siguientes:

1. Forma de onda en tensión y corriente.
2. Bajos y altos niveles de tensión.
3. Desequilibrio en tensiones y corriente.
4. Distorsión armónica.
5. Factor de potencia.

#### **4.2.4. Hábitos y prácticas industriales**

Al realizar entrevistas con cada una de las personas que trabajan en la empresa se logra obtener información sobre los hábitos y prácticas industriales, dependiendo de los requerimientos de la organización, se pueden realizar en la parte de producción y/o administrativa, en este caso se realizan entrevistas del personal del área de producción, se destaca que el dueño de la empresa es quien más conocimiento tiene sobre las áreas, procesos y equipos de la empresa EPO Ltda., gracias a esto se pudo realizar el levantamiento de la información presente en la Revisión General, los Procesos industriales y los Equipos industriales, sin embargo, no existía ningún tipo de información previamente documentada.

### **4.3. REVISIÓN ENERGÉTICA**

El objetivo de la revisión energética es identificar, revisar y analizar el uso y consumo de la energía eléctrica [14], teniendo como premisa este requisito, se realiza el procedimiento de identificación de los factores que pueden incidir directamente o indirectamente sobre la variación de los consumos energéticos en los procesos industriales en torno a los 4 ejes, identificados por el modelo MEAEEI. Para este caso, se enfatizará en el estudio y análisis de los ejes de equipos industriales y de instalaciones eléctricas & calidad de la energía, mientras que el eje de hábitos y prácticas industriales se deja propuesto para trabajos futuros.

El alcance del MEAEEI no abarca los procedimientos de línea de base energética, IDE y planes de acción como lo establece NTC-ISO 50001, sin embargo el modelo aporta la línea de consumo energético, los IE y el listado de acciones, que pueden ser utilizados como insumo para realizar los procedimientos anteriormente nombrados.



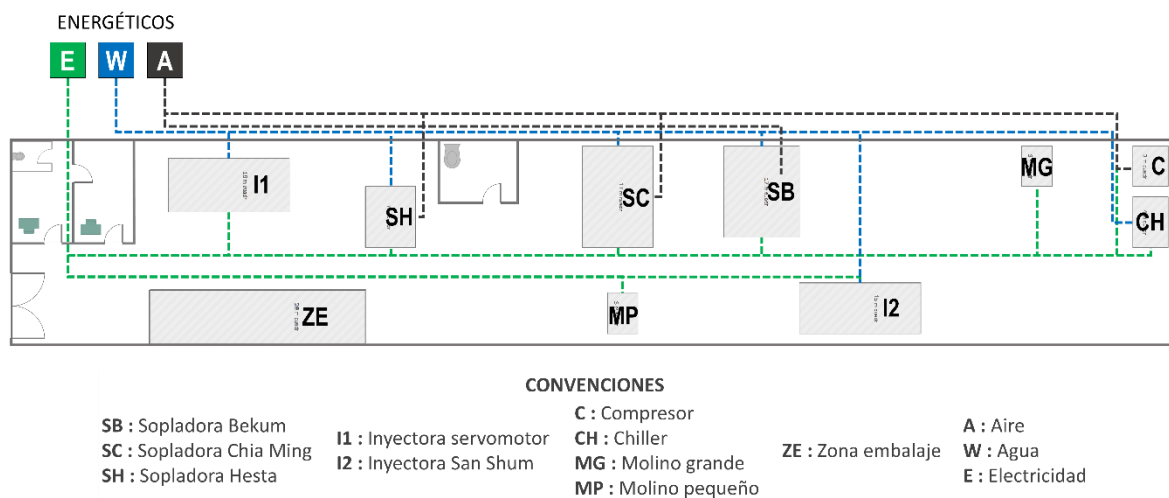
### 4.3.1. Diagnóstico energético

El diagnóstico energético se realiza en la planta de producción de EPO Ltda., con el fin de identificar las mejoras de desempeño energético en los procesos de extrusión-soplado, extrusión-inyección y molienda. De acuerdo a estos procesos, se identificaron los equipos de mayor consumo energético mediante la sectorización de consumos parciales a través de la instalación de medidores eléctricos, censo de carga y la distribución de las fuentes de energía utilizados en la empresa (ver Figura 39).

De acuerdo al análisis de calidad de potencia eléctrica suministrada e instalaciones eléctricas, desarrollado en las secciones 2.3.1.1 y 2.3.1.2 del Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio, se determinaron algunos factores que inciden en el correcto funcionamiento de los equipos, que provocan pérdidas, deterioro y disminución de su vida útil.

En el diagrama de procesos energéticos de EPO Ltda., se puede ver que la única fuente de energía para los procesos es la energía eléctrica, ya que esta es el insumo principal que alimenta energéticamente los equipos eléctricos en todos los procesos de la empresa, sin embargo, los otros suministros como el agua, necesaria para el proceso de refrigeración de todos los moldes en los procesos de extrusión-soplado y extrusión-inyección, estará representada por el volumen de agua refrigerada para dicha tarea. En cuanto al aire a presión, necesario en el proceso de extrusión-soplado, estará representado por la energía de flujo transmitida al aire, la cual se verá reflejada en la presión que le obliga a ser expulsado [36], sin embargo, dentro de la planta de producción no existen medidores internos de agua ni de aire, con los cuales se pueda evaluar el consumo de estos recursos.

**Figura 39.** Mapa de procesos energéticos de la planta de EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.

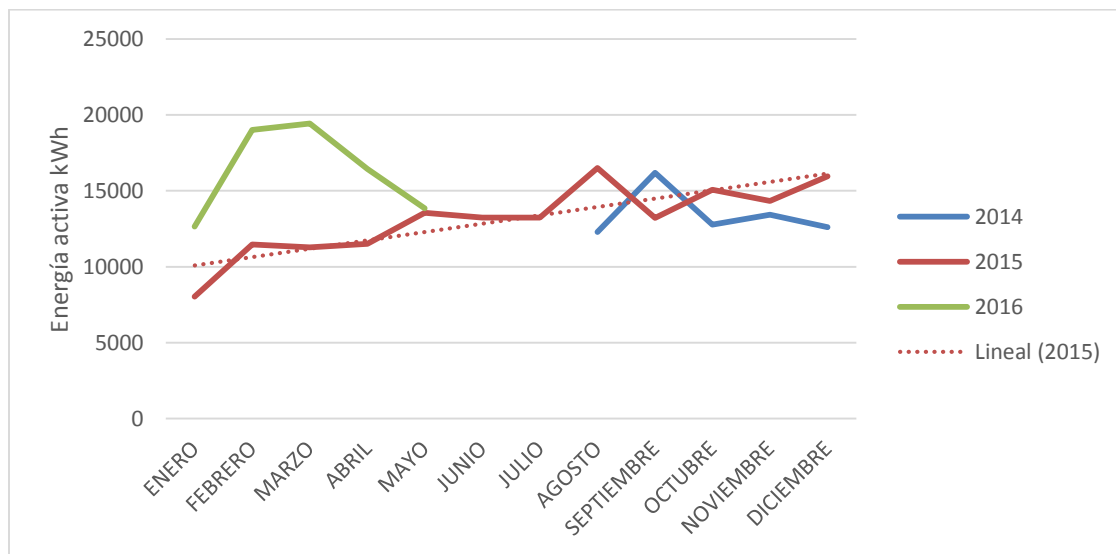


#### 4.3.1.1. Balance energético general de la organización

El comportamiento del consumo energético de la empresa se puede observar al realizar una gráfica en base al historial de consumo registrado en las facturas del consumo de energía eléctrica.

Las facturas recogidas comprenden el periodo entre el año 2014 hasta el año 2016, pero solo las del año 2015 están completas, es decir que se obtuvieron las 12 facturas correspondientes a los 12 meses del año, con lo cual se observa un comportamiento creciente en el consumo de la energía eléctrica de ese año, aunque los datos del 2014 y 2016 están incompletos, se observa que en el transcurso del año 2016 ha aumentado drásticamente el consumo de energía eléctrica. Para comprender las razones por las cuales ha sucedido este aumento sería necesario evaluar la producción y el desempeño energético de la planta de producción, pero no se tiene documentación exacta de los datos de producción de esos años debido a un deficiente proceso de documentación y registro (ver Figura 40).

**Figura 40.** Gráfica del consumo de energía activa en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.



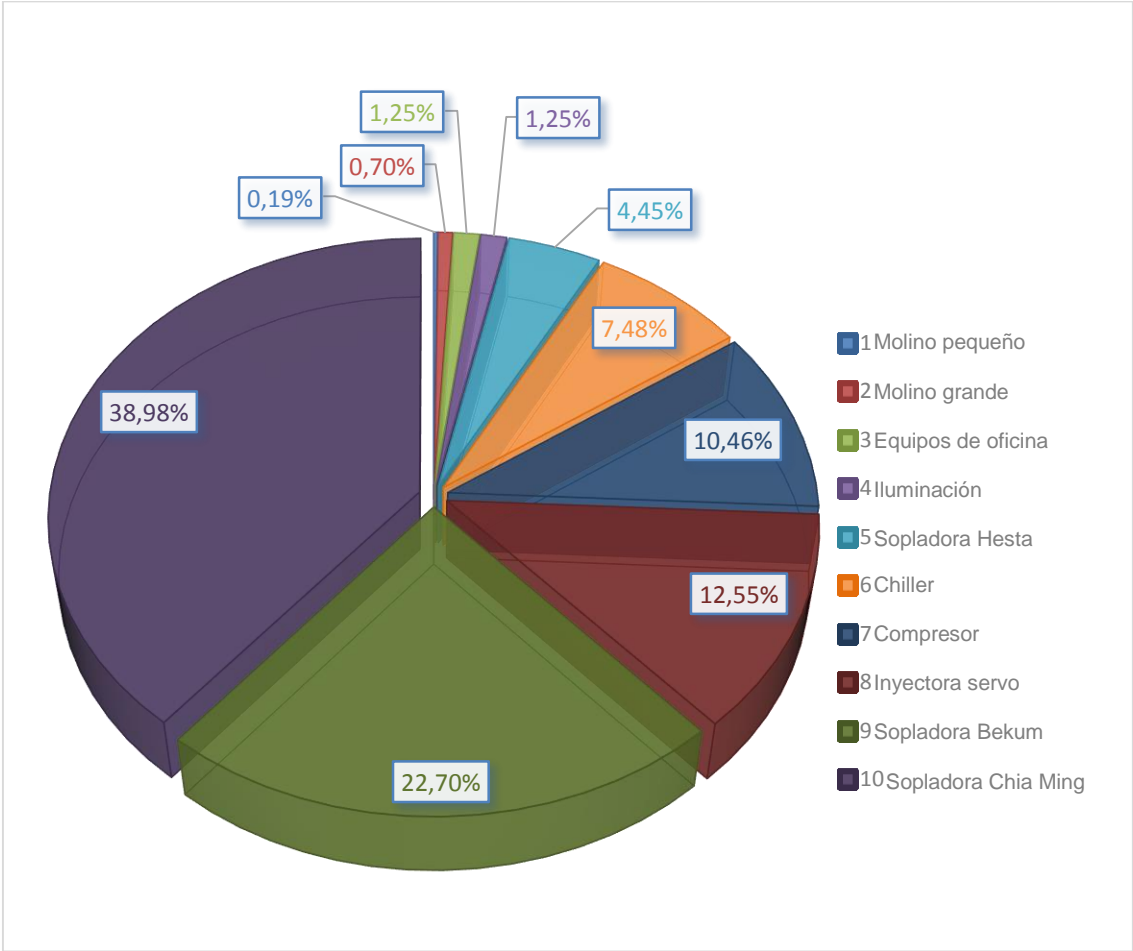
#### 4.3.1.2. Identificación del uso significativo de la energía

Como parte del análisis de los procesos y equipos de EPO Ltda., se registraron las potencias y consumos de los equipos en la Tabla 27 Formato de censo de carga, contenida en el Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio; se puede concluir, que el mayor consumo está representado por las máquinas: sopladora Chia Ming, sopladora Bekum e inyectora con servomotor, estas tres máquinas representan aproximadamente el 75% del consumo total de la planta de producción, por lo tanto, es sumamente importante considerar todas las prácticas de EE que puedan mitigar el impacto de estos equipos para mejorar el desempeño energético de la empresa (ver Figura 41).

En la gama de productos fabricados de EPO Ltda., con características descritas en la Tabla 13, Características de productos del Anexo 2, Aplicación del MEAEEI al caso de estudio, y relacionadas con las máquinas en las que se fabrican mediante la Tabla 14, Descripción de los productos realizados por cada máquina del mismo anexo, se establecieron comparativas referentes al desempeño energético de algunos productos en equipos con capacidades nominales similares. De acuerdo a estas comparativas descritas en la sección 2.3.3 Indicadores energéticos del Anexo 2, soportadas en la estrecha relación producción vs consumo energético reflejada, se pudo establecer que:

- El proceso de extrusión-soplado, debido a sus características de diseño que implican 2 motores por máquina, representa mayores consumos energéticos comparados con el proceso de extrusión-inyección en la fabricación de productos plásticos. En términos numéricos, se tienen registros de 0,69 kWh/kg contrastados con valores de hasta 1,98 kWh/kW referentes a la relación consumo energético sobre producción.

**Figura 41.** Consumos totales kWh en porcentaje a nivel de áreas y equipos principales. Fuente: propia, agosto de 2016.



- Los empaques realizados mediante el proceso de extrusión-soplado representan la relación más alta de kilovatios hora sobre kilogramo procesado. Esto quiere decir, que ante el aumento de la producción de envases para lácteos, pegamentos y demás, el consumo energético también aumentará debido a la estrecha relación entre los dos factores mencionados.
- Además, según la pruebas realizadas en equipos con capacidades nominales similares, como es el caso de la sopladora Hesta y la Bekum, se estableció que en la fabricación de los envases para lácteos de 220 ml, se podría reducir el consumo energético, fabricando el producto en la máquina Hesta, como lo muestra los índices de consumo energético  $IE(pa)$ , para cada máquina, con una reducción estimada de 0,25 kWh/kg, es decir, una reducción en el consumo eléctrico de 969 w/h:

$$IE(pa) = (8,12 kWh/4,581kg) \text{ equivalente a } 1,772 kWh/kg$$

$$IE(pa) = (5,9 kWh/3,876kg) \text{ equivalente a } 1,522 kWh/kg$$

#### 4.3.1.3. Calidad de las instalaciones eléctricas

De acuerdo al análisis de calidad de potencia eléctrica suministrada e instalaciones eléctricas, desarrollado en las secciones 2.3.1.1 y 2.3.1.2 del Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio, se determinaron algunos factores que inciden en el correcto funcionamiento de los equipos y que provocan pérdidas, deterioro y disminución de su vida útil, teniendo en cuenta lo establecido por la normatividad colombiana en el RETIE, se presentan las siguientes condiciones de las instalaciones eléctricas en la planta de producción de la empresa EPO Ltda:

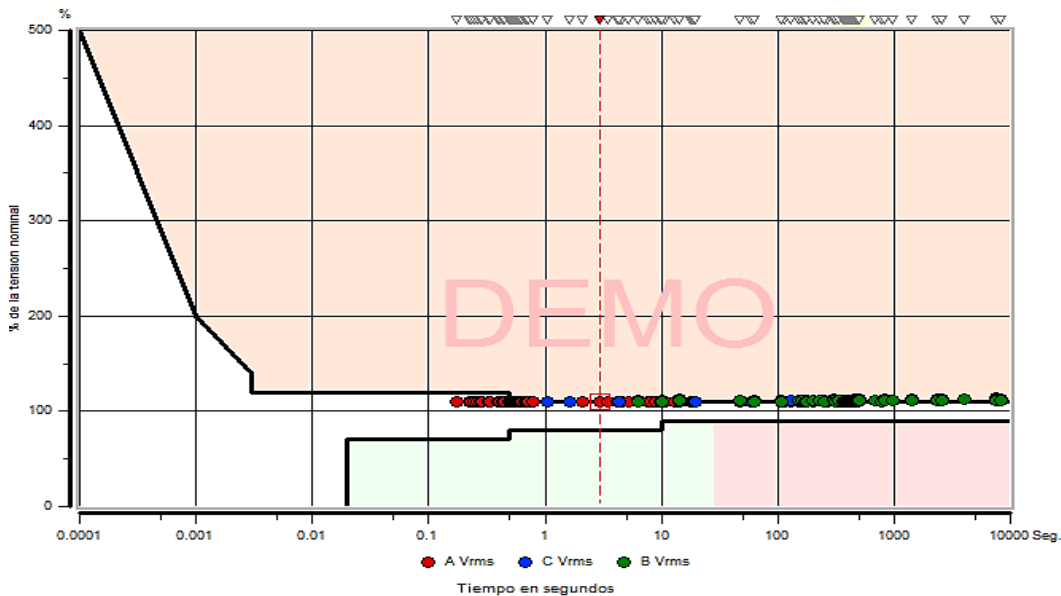
- **Instalaciones eléctricas:** no se encuentran estandarizadas conforme a lo que propone el RETIE en cuanto a código de colores en conductores eléctricos, además carece de un tablero de distribución.
- **SPT:** no se dispone de un sistema de puesta a tierra activo.
- **Acometida eléctrica principal:** hay combinación de conductores eléctricos de diferentes calibres, lo que genera desbalance de tensiones.
- **Acometida del molino:** no cuenta con sistema de protección en corriente y temperatura.
- **Instalación eléctrica de los equipos:** en el resto de las instalaciones, los conductores están bien dimensionados y cuentan con sistemas de protección (no se incluye al molino grande).

#### 4.3.1.4. Calidad de potencia eléctrica suministrada

De acuerdo al análisis de la calidad de potencia eléctrica suministrada y de las instalaciones eléctricas, desarrollado en las secciones 2.3.1.1 y 2.3.1.2 del Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio, se presentan los siguientes resultados:

- **Formas de onda en tensiones:** las formas de ondas obtenidas de las señales de tensión, son perfectamente sinusoidales, resultado de una buena CPE suministrada (ver Figura 42 Formas de onda de las señales de tensión del transformador del Anexo 2).
- **Formas de onda en corrientes:** estas formas de onda no son sinusoidales, debido a la presencia de distorsión armónica, a la naturaleza de las cargas y al desbalance de las fases (ver Figura 46 Formas de onda de las señales de corriente del transformador del Anexo 2).
- **Bajos niveles de tensión:** se registraron en eventos causados por el arranque de motores grandes y una pobre calidad del factor de potencia, sin embargo, estos niveles de tensión no representaron peligro para los equipos, principalmente a causa de la duración de los eventos (ver Figura 42).

**Figura 42.** Diagrama de magnitud sobre duración de la curva de tolerancia ITIC. Fuente: propia, agosto 2016.



- **Desbalance de tensiones:** el valor promedio del desbalance de tensiones registrado es  $VUF = 0,7$ , ver la Figura 43 “Tendencias del desequilibrio de tensiones” en el Anexo 2, este dato se encuentra dentro de los límites establecidos por la normatividad colombiana, pero ante el aumento a valores cercanos al 2 %, como en algunos momentos del registro, se ocasionarían pérdidas cercanas al 5 %, que se suman a las pérdidas en el hierro y las mecánicas que son ocasionadas por corrientes de secuencia negativa [57].
- **Altos niveles de tensión:** se detectaron niveles de tensión superiores al límite permitido, debido a problemas asociados a la CPE suministrada por el operador de red, relacionados con la desconexión de grandes cargas de fábricas vecinas en horas de la noche, la descarga del banco de capacitores, entre otras. El promedio de tensión en las mediciones superó los 132 v,

equivalente a un 110%, implicando pérdidas que oscilan alrededor del 1 % por sobretensiones y problemas de seguridad en algunos controles electrónicos susceptibles a daños por ocasionados por este fenómeno [8], en la Figura 39 y 40 del Anexo 2, se amplía esta información.

- **Desbalance de corriente:** se registraron niveles de desbalance de corriente hasta del 20%, ocasionado principalmente por el desbalance de las cargas y la antigüedad de los motores, cuyas fases no están balanceadas, además de la distorsión armónica que tiene un efecto importante en estas situaciones (ver Figura 44 y 45 de tendencias de corrientes en el Anexo 2).
- **Distorsión armónica en tensión:** se presentaron niveles máximos de TDHv =1,99. No generan pérdidas representativas. Los armónicos de mayor aporte tuvieron fueron los impares del 3 al 13 (ver Figura 48 y 49 del Anexo 2).
- **Distorsión armónica en corriente:** se presentaron valores con máximos de hasta THDi=27%, no obstante, estos valores no son tan confiables, debido a la imposibilidad de encontrar la corriente de consumo para el transformador público, lo que impidió conocer la relación de corto circuito o SCR (ver Figura 48 y 49 del Anexo 2).
- **Factor de potencia promedio:** se obtuvo un FP=0,73 que se encuentra por debajo del límite establecido en la normatividad colombiana, resultando en una pobre CPE, que impide un óptimo funcionamiento de los equipos y genera mayores pérdidas y consumos eléctricos. Se detectó una sobrecompensación del banco de capacitores en la red eléctrica de la planta, reflejado en potencia reactiva capacitiva y valores del factor de potencia negativos (ver Figura 40 Diagrama de tendencia del factor de potencia del Anexo 2). Las pérdidas asociadas a ese factor de potencia se reflejan en un aumento de requerimientos de corriente comprendido entre el 25% al 43% lo que implicaría un sobredimensionamiento de los conductores entre el 156% al 204%, debido a las pérdidas por sobrecalentamiento que estarían comprendidas entre el 56% y 104% [9].
- **Registro de eventos:** se puede consultar en la Figura 42, curva de tolerancia ITIC, donde se resaltan los 256 eventos registrados, afortunadamente ninguno de ellos fuera de la zona, en donde representarían algún peligro para los equipos y maquinaria de la empresa.

#### 4.3.1.5. Oportunidades para mejorar en el proceso industrial

Acorde al resultado del proceso de documentación, estudio y análisis de cada uno de los procesos presentes en EPO Ltda., se determinaron oportunidades de mejora en base a la identificación de puntos críticos, focos de mayor consumo e ineficiencia en los procesos (para mayor información consultar sección 2.2 y 2.3 Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio), así:

- El hecho de que no exista una planificación estructurada de la producción, debido a condiciones de mercado variante e informal, representa un grave

problema para la eficiencia de los procesos, implicando pérdidas de tiempo en cambios de moldes cuando se necesitan producir diferentes referencias de productos.

- Es necesario mejorar el flujo de los procesos y organizar los equipos de acuerdo a su función, reduciendo tiempos de transporte interno de productos para ser embalados, movimiento de operarios y transporte de materiales.
- La falta de sistemas de rebabado automático limitada la eficiencia de los procesos, ya que esta función dejaría de ser manual a ser automática. Esto implica contar con la habilidad del operario y pérdidas de tiempo en la capacitación de nuevo personal.
- Implementar un sistema de banda transportadora, aumentaría el flujo de los procesos, mejorando la eficiencia de la empresa.
- Realizar producciones estimadas de acuerdo al historial de ventas mensual en los productos de mayor demanda, reduciría tiempos perdidos, siendo necesario llevar una documentación de los valores de la producción en periodos determinados, por ejemplo mensuales. Se estima que por cada cambio de molde en los procesos de EPO se tiene un tiempo muerto, por ejemplo, para el proceso de extrusión soplado se puede perder de 2 a 3 horas y para el proceso de extrusión inyección de 3 a 5 horas.

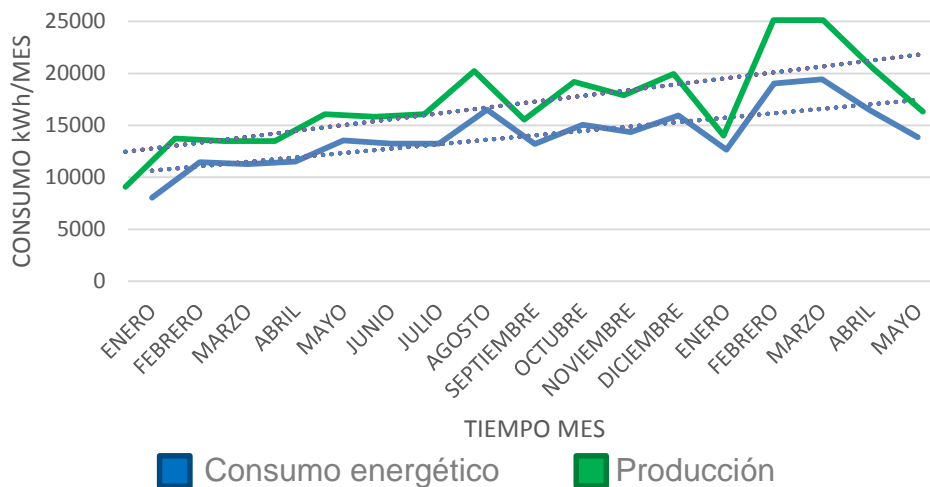
#### **4.3.2. Línea de consumo energético**

Partiendo del diagnóstico energético y haciendo uso de los datos del levantamiento de la información de la empresa EPO Ltda., se realizan unas graficas enfocadas a conocer el comportamiento que tiene el consumo energético y la producción.

Graficando los datos de la Tabla 35, índices de consumo energético por unidad de producción del Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio, se obtienen dos gráficas de gran importancia para la elaboración de la línea de consumo energético, que será utilizada para la línea de base energética. Las gráficas son la de comportamiento energético y de comportamiento de producción, que al sobreponerse una sobre la otra se observa cómo es la relación del desempeño energético frente a la producción (ver Figura 43), en el Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio, se tiene un mayor detalle sobre estas gráficas y el proceso realizado (ver Anexo 2, sección 2.3.2). De acuerdo a lo anterior se tiene:

- Existe una estrecha relación entre la producción y el consumo energético, lo que implica que ante el aumento de la producción habrá un aumento similar o proporcional del consumo energético, por lo tanto, la EE puede empeorar o mejorar, de acuerdo al proceso dominante en dicha producción, ya que existe una diferencia marcada en los indicadores energético asociados a dichos procesos, más aún en los IDEs.
- La cantidad de energía no asociada a producción representa un margen muy bajo, que reafirma la relación entre el consumo energético y la producción.

**Figura 43.** Superposición de línea de consumo energético y línea de producción.  
Fuente: propia, agosto de 2016.



### 4.3.3. Indicadores energéticos

Son el resultado de la línea de consumo energético y del análisis de los datos utilizados para su construcción, más específicamente, de los datos del índice de consumo energético; se establecen con el fin de hacer un seguimiento, monitorear los procesos y controlar el desempeño energético de la empresa. El comportamiento de estos indicadores debería verse reflejado en la gráfica de la línea de consumo energético. Como resultado del estudio y análisis de mediciones y demás datos anteriores (ver Anexo 2, sección 2.3.3 para información más detallada), se establecieron los siguientes IE:

- **IE de nivel 2:** llamado “producción/consumo energético”, relaciona la cantidad de producto procesado en kilogramos sobre los kilovatios que implicó dicha transformación de la materia prima en el producto final.
- **IE de nivel 3:** llamado “consumo específico para polímeros amorfos semi-cristalinos”, este indicador es específico para la industria del plástico y sus procesos de transformación de polímeros mediante el proceso de extrusión-inyección, en base a este identificador es posible realizar una evaluación con los estándares actuales de mejor desempeño energético. La referencia en consumo energético es la siguiente:

$$IE(pa) \text{ consumo aproximado entre } 0,20 \text{ y } 0,25 \text{ kWh/kg}$$

Proceso extrusión-inyección: el consumo energético promedio, para un periodo de 48 horas continuas de trabajo en la fabricación de tapas de 38 mm para envases de lácteos, utilizando la máquina San Shun de alta eficiencia es el siguiente:

$$IE(pa) = (6,0 \text{ kWh}/8,64 \text{ kg}) \text{ equivalente a } 0,69 \text{ kWh/kg}$$



Proceso de extrusión-soplado: el consumo promedio obtenido para 48 horas continuas de trabajo en la fabricación de envases para lácteos de capacidad para 1 litro, utilizando la máquina sopladora Chia Ming, es el siguiente:

$$IE(pa) = (7,9 kWh/4,581kg) \text{ equivalente a } 1,958 kWh/kg$$

Para el caso de la sopladora Bekum se realizaron las mediciones de consumos energéticos en los mismos tiempos establecidos para los casos anteriores, esta vez se fabricaron envases para lácteos con capacidad para 220 ml, arrojando:

$$IE(pa) = (8.12 kWh/4.581kg) \text{ equivalente a } 1.772 kWh/kg$$

Para la máquina sopladora Hesta se siguió el mismo procedimiento establecido, en este caso se fabricaron envases para lácteos con capacidad para 220 ml, arrojando:

$$IE(pa) = (5.9 kWh/3,876kg) \text{ equivalente a } 1.522 kWh/kg$$

#### 4.3.4. Listado de acciones

El Anexo 1 “Guía Especializada de prácticas de EE industriales”, resume una amplia variedad de acciones que potencialmente se pueden llevar a cabo en una industria, fruto de la investigación realizada en el presente trabajo de grado en cada eje del MEAEEI. Al cruzar la información del anexo 1 con los resultados de las secciones anteriores y mediante un análisis específico en los equipos de la empresa, surge un listado de acciones específicas para su aplicación en EPO Ltda (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** Listado de acciones sugeridas para aplicar en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.

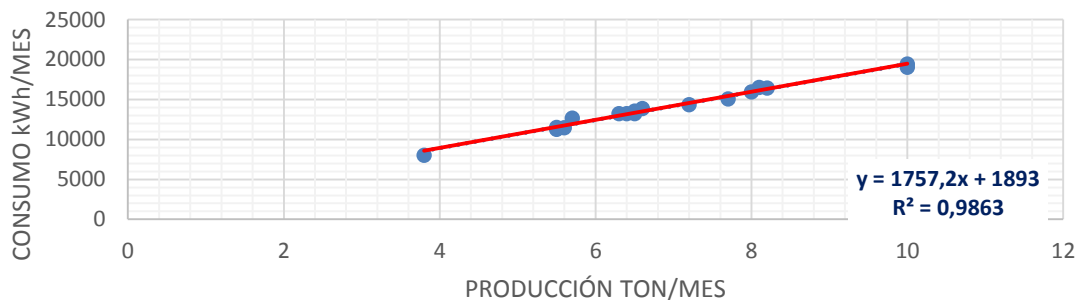
ENFOCADO A:	SUGERENCIAS
Inyectora San Shun alta eficiencia	Instalar sistemas de calefacción inductivos con aislamiento térmico, que limite las pérdidas por transferencia de calor (consultar monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad). Instalar filtros activos para suprimir presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica).
Sopladora Hesta	Revisar el estado de la bomba, porque presenta movimientos bruscos, a fin de considerar el rebobinado o reemplazarlo por un motor de alta eficiencia en conjunto con un variador de velocidad y un sistema de control de soplado (consultar guía especializada A1, sección 1.2.3.1 motores de alta eficiencia).
Sopladora Chia Ming	Cambiar el motor del sistema extrusor por uno de alta eficiencia en conjunto con un sistema de arranque suave, consultar (guía especializada A1, sección 1.2.3.1 motores de alta eficiencia). Instalar un sistema de calefacción inductivos con aislamiento térmico que limite las pérdidas por transferencia de calor, consultar (monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad). Instalar filtros activos para suprimir la presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica). Incorporar un variador de velocidad en conjunto con un sistema de control para el sistema hidráulico, con el fin de limitar el consumo energético en el momento de carga mínima o vacía (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.1 variadores de velocidad).

Sopladora Bekum	Automatizar por completo la máquina, a fin de incorporar un PLC en conjunto con un sistema de control de soplado. Cambiar el motor del sistema extrusor por uno de alta eficiencia e instalar un variador de velocidad (consultar guía especializada A1, sección 1.2.3.1 motores de alta eficiencia) Instalar un sistema de calefacción inductivo con aislamiento térmico que limite las pérdidas por transferencia de calor (consultar monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad) Instalar filtros activos para suprimir la presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica) Incorporar un variador de velocidad en conjunto con un sistema de control para el sistema de hidráulico, con el fin de limitar el consumo de energía en momento de carga mínima o vacía (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.1 variadores de velocidad).
Inyectora San Shun de eficiencia media	Instalar sistema de calefacción inductivos con aislamiento térmico, que limite las pérdidas por transferencia de calor (consultar monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad). Instalar filtros activos para suprimir la presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica).
Molinos	Mantener afiladas las cuchillas para aumentar el rendimiento de la trituración.
Todas las máquinas moldeadoras y compresor	Revisar el estado de los ductos, mangueras, etc., evitando obstrucciones que impiden al aire circular por toda la planta. Reemplazar y alinear correas en mal estado por correas de alta eficiencia (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.4 reducción de las pérdidas por transmisión mecánica).
Todas las máquinas moldeadoras y chiller	Revisar el estado de mangueras, válvulas, llaves de paso, etc., evitando sitios obstruidos que impiden al agua circular por toda la planta. Incluir asesoría de personal experto en sistemas de aire y sistemas de refrigeración para mejoramiento de prácticas de EE.

#### 4.4. LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA

Como resultado de la línea de consumo energético se tiene la Figura 44, que se realiza como dice en el Anexo 2 Aplicación del MEAEEI al caso de estudio (ver sección 2.3.2 del Anexo 2), la cual se puede tomar como línea de base energética, ya que indica el estado del desempeño energético de los procesos de la empresa. En la gráfica de consumo vs producción se ve la estrecha relación entre el consumo de la electricidad y la producción de la fábrica, el valor de correlación que arroja la gráfica es de 0,9863, lo que reafirma la tesis de la estrecha relación entre el consumo energético y la producción, así que la energía no asociada a la producción solo equivale a un 1%.

**Figura 44.** Línea de base energética. Fuente: propia, agosto de 2016.



Entonces, se realiza un análisis más profundo para determinar elementos más significativos, utilizando la línea de base energética propuesta, por ejemplo:

- **Modelo de variación del consumo vs producción:** ecuación de la forma  $E=(m*P) + E_0$  ( $y = 1757,2x + 1893$ ).
- **Grado de dependencia del consumo de energía con la producción:** lo da el valor del coeficiente de correlación ( $R^2 = 0,9863$ ).
- **Carga base de consumo/energía no asociada a la producción:** es el intercepto de la línea con el eje  $y$  de la Figura 44,  $E_0$  (1893 W).
- **Mínimo índice de consumo alcanzado en el proceso:** representado por el valor de la pendiente de la línea  $m$  ( $y/x = 1757,2$ ).
- **Predicción del consumo de energía para nuevos valores de producción:** con la ecuación del modelo de variación del consumo vs producción.
- **Nivel de incertidumbre del consumo de energía para una producción dada:** este nivel de incertidumbre es igual al valor de la desviación estándar de los datos reales de la muestra respecto a la línea de ajuste.
- **Potencial de ahorro por reducción de la variabilidad operacional del consumo de energía:** se puede determinar al trazar otra línea de ajuste del consumo vs producción o variable significativa, y obtener una ecuación modelo que represente esa línea, sin embargo pueden haber casos en que se puede no tener una variable significativa del consumo de energía.

#### 4.5. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Utilizando los IE, se propone una serie de IDEs que pueden reflejarse en la línea de base energética, ya que involucran al consumo de la energía, producción, características del producto y son medibles (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Principales indicadores energéticos. Fuente: propia, octubre de 2016.

PROCESO/EQUIPO	INDICADOR ENERGÉTICO
Proceso extrusión-inyección máquina San Shun.	$IE(pa) = 0,690 \text{ kWh/kg}$
Proceso extrusión-soplado máquina Chia Ming.	$IE(pa) = 1,958 \text{ kWh/kg}$
Máquina sopladora Bekum.	$IE(pa) = 1,772 \text{ kWh/kg}$
Máquina sopladora Hesta.	$IE(pa) = 1,522 \text{ kWh/kg}$

#### 4.6. PLANES DE ACCIÓN

Deben ser establecidos con el fin de cumplir los objetivos y metas energéticas de EPO Ltda. Actualmente la empresa no cuenta con políticas energéticas, ni objetivos y metas energéticas, así que no es posible generar unos planes de acción que

cumplan con lo establecido en NTC-ISO 50001, sin embargo el listado de acciones es una buena aproximación a estos y pueden generar grandes beneficios al industrial, si decide aplicar las recomendaciones/acciones propuestas. A continuación se presenta una propuesta de planes de acción, para ser validados según lo establece NTC-ISO 50001, propuestos en los ejes del MEAEEI de la siguiente forma:

- Planes de acción equipos industriales (ver Tabla 4).
- Planes de acción instalaciones eléctricas y calidad de energía (ver Tabla 5).
- Planes de acción procesos industriales (ver Tabla 6).
- Planes de acción equipos hábitos y prácticas industriales (ver Tabla 7).

Se propone la implementación de estos planes de acción de acuerdo a las áreas y máquinas de mayores consumos energéticos (ver Figura 41), ya que aquí es donde se presentan los puntos críticos de consumo de energía en EPO. Al realizar las mejoras, se pueden tener grandes resultados y beneficios, sin embargo, cada una de estas acciones sugeridas, debe ir acompañada de un ejercicio de relación costo beneficio, ya que en últimas esto es lo que más interesa al industrial.

**Tabla 4.** Planes de acción dirigidos a equipos industriales. Fuente: propia, octubre de 2016.

DIRIGIDO A	DESCRIPCIÓN
Equipos y maquinaria industrial	Ejecutar tareas periódicas de los planes de mantenimiento de equipos, maquinaria y de sus componentes, incluyendo la supervisión/monitoreo del funcionamiento de los equipos, registro de condiciones de operación, acciones del operario y eventos significativos. Complementar tareas periódicas de mantenimiento en motores con pruebas para determinar su estado mecánico, según los recomienda IEEE en: resistencia, inductancia, impedancia, ángulo de fase, de respuesta en frecuencia y de resistencia de aislamiento; con el fin de apoyar las decisiones de reemplazo o mejora de equipos industriales, mediante las relaciones costo-beneficio que el industrial considere.
	En caso de ser necesario, siga las recomendaciones del fabricante para proteger los equipos del medio ambiente, para evitar desgaste innecesario y aumentar su vida útil.
	Adquirir repuestos y componentes de respaldo para los componentes electrónicos de las máquinas (PLC, software de los sistemas, <i>backups</i> , etc.)
	Utilizar troceadores electrónicos de tensión en equipos con cargas variables cuya fluctuación este entre el [0 % a 100 %], con un estado predominante de carga leve (ver Anexo 1, sección 1.1.3.2)].
	Si los motores tienen arrancadores convencionales, cambiarlos por dispositivos <i>InSwitch</i> , para mejorar el consumo de energía de arranque. [Ahorros entre 15%-20% en condiciones de carga inferior al 40] (ver Anexo 1, sección 1.1.3.3)].
Inyectora San Shun de eficiencia alta	Instalar sistema de calefacción inductivo con aislamiento térmico, para que las temperaturas del cilindro, no fluctúe, limitando las pérdidas por transferencia de calor. [Reducción del 40% consumo asociado al sistema de calefacción, disminución de tiempos de arranque de máquinas] Instalar filtros activos para suprimir presencia de armónicos.
Sopladora Hesta	Revisar el estado de la bomba, porque presenta movimientos bruscos, a fin de considerar el rebobinado o reemplazarlo por un motor de alta eficiencia en conjunto con un variador de velocidad y un sistema de control de soplado. Ya que este motor hace la doble función de bomba y de mover el husillo por accionamiento interno.
Sopladora Chia Ming	Cambiar motor del sistema extrusor por uno de alta eficiencia, con un sistema de arranque suave.
	Instalar un sistema de calefacción inductivo con aislamiento térmico, que limite las pérdidas por transferencia de calor, ya que están expuestas al medio ambiente. [reducción del 40% consumo asociado al sistema de calefacción, disminución de tiempos de arranque de máquinas]
	Instalar filtros activos para suprimir la presencia de armónicos.
	Incorporar un variador de velocidad en conjunto con un sistema de control para el sistema hidráulico, con el fin de limitar el consumo energético en el momento de carga mínima o vacía.
Sopladora Bekum	1) Automatizar por completo la máquina, con PLC, sistema de control de soplado, motor de alta eficiencia en extrusor, variador de velocidad e incorporar un sistema de calefacción con aislamiento térmico, etc.

	2) Cambiar la máquina por una nueva o moderna, que sea energéticamente más eficiente ya que el costo de las mejoras sería muy alto. Para este caso específico se necesita conocer la relación costo beneficio de 1) y 2), dependiendo de cuál sea la mejor opción: automatizar o comprar una nueva máquina.
Inyectora San Shun de eficiencia media	Instalar un sistema de calefacción inductivo con aislamiento térmico, que limite las pérdidas por transferencia de calor, ya las resistencias eléctricas están expuestas al medio ambiente. [Reducción del 40 % consumo asociado al sistema de calefacción, disminución de tiempos de arranque de las máquinas]
	Instalar filtros activos para suprimir la presencia de armónicos.
Molinos	Mantener afiladas las cuchillas para aumentar el rendimiento de la trituración.
Todas las moldeadoras y compresor	Revisar ductos, mangueras, etc., evitando obstrucciones que impiden al aire circular por toda la planta. Reemplazar correas en mal estado por correas de alta eficiencia, enseguida alinearlas.
Todas las máquinas moldeadoras y chiller	Revisar mangueras, válvulas, etc., evitando obstrucciones que impiden al agua circular por toda la planta. Incluir asesoría de personal experto en sistemas de aire y refrigeración enfocado en EE.

**Tabla 5.** Planes de acción dirigidos a instalaciones eléctricas y calidad de la energía. Fuente: propia, octubre de 2016.

DIRIGIDO A	DESCRIPCIÓN
Instalación eléctrica de la empresa	Establecer una acometida exclusiva para el área de producción, desde el tablero de distribución general hasta el área en particular y que sea independiente del área administrativa de la empresa.
	Instalar un medidor para el área de consumo y otro para el área administrativa.
	Inspeccionar y mejorar las instalaciones eléctricas de la empresa según el RETIE, distribuyendo cargas.
	Utilizar el mismo calibre en los conductores de toda la instalación eléctrica o acometida, según los requerimientos de cada área específica y de acuerdo a los requerimientos de potencia de cada equipo, así se puede disminuir el consumo por calentamiento de conductores [Reducciones del 10% de la corriente total en el conductor mal dimensionado (con calentamiento) pueden disminuir las pérdidas en un 20% (ver Anexo 1, sección 1.2.1.1)].
	Instalar banco de condensadores automático al inicio de la instalación eléctrica, correctamente dimensionado de acuerdo a las necesidades de EPO Ltda., para compensar el desfase entre ondas de tensión y corriente, y mejorar el factor de potencia, producido por la corriente reactiva de la red eléctrica.
	Utilizar convertidores trifásicos de más de 6 pulsos, filtros resonantes y activos, reactancias de línea, además dimensionar los transformadores, máquinas y cables considerando la presencia de corrientes no sinusoidales, para atenuar al máximo los armónicos y sus efectos.
	Dimensionar los transformadores teniendo en cuenta la visión de la empresa, estudios de mercado, etc., ya que a futuro puede aumentar los requerimientos debido al aumento de producción.

Máquinas y equipos industriales	Implementar sistemas de protección de circuitos para disminuir la probabilidad de daños, inactividad, reparación o compra de equipos y maquinaria industrial antes de lo presupuestado.
	Instalar medidores para cada máquina de la planta de producción.
	Realizar un monitoreo constante, mediante mediciones periódicas de la distorsión armónica presente en la red eléctrica de la industria, con el fin de determinar si hay que hacer alguna reclasificación de potencia de los motores, aplicando un factor de ajuste.
	Implementar sistemas SPT, ayuda a prevenir accidentes por contactos con partes metálicas energizadas (electrocuciones) y prevenir algunos fallos en equipos debido a sobretensiones temporales y sobrecargas.
	Trabajar los motores cumpliendo con la norma NTC 1340, para un funcionamiento adecuado en condiciones de variaciones de tensión. [Rango de (-10%, +5%) (ver Anexo 1, sección 1.2.2.1)]
	Corregir bajos niveles de tensión mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustes de <i>taps</i> de los transformadores.</li> <li>• Instalación de cambiadores automáticos de <i>taps</i>.</li> <li>• Instalación de un banco de capacitores.</li> </ul> [Para tensión del 90% se tienen pérdidas entre 2% y 4% (ver Anexo 1, sección 1.2.2.1)].
Suministro de electricidad	Garantizar las condiciones mínimas o nominales para el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos, previene problemas de calentamiento y pérdidas.
	Suministrar un nivel adecuado de tensión reduce el consumo de corriente y pérdidas.
Lámparas fluorescentes	Hacer el cambio a lámparas led en toda la empresa, reemplazando toda clase de lámparas que generen mayores consumos energéticos. [Disminución de consumo hasta del 40% (ver Anexo 1)].
	Utilizar circuitos de protección para lámparas leds, para evitar daños antes de lo establecido por el fabricante.

**Tabla 6.** Planes de acción dirigidos a procesos industriales. Fuente: propia, octubre de 2016.

DIRIGIDO A	DESCRIPCIÓN
Máquinas sopladoras	Instalar una tecnología de automatización de rebabado, para eliminar el proceso manual, este tiempo adicional puede ser utilizado en otras acciones, volviendo más eficiente el proceso.
Procesos de producción	Mantener los implementos utilizados en los procesos de producción en buen estado, ya que si están desgastados se pueden producir inconvenientes en la producción, por pérdidas de tiempo en correcciones de fallas temporales.
Máquinas industriales	Realizar pruebas de rendimiento con máquinas en capacidades similares, a fin de determinar mejoras en tiempos de producción y aumento de rendimiento de la EE.
Infraestructura de producción	Diseñar y/o reorganizar las líneas de producción de acuerdo al flujo de procesos, con el fin de optimizar la eficiencia del proceso e indirectamente la EE de la empresa. Esto también aumenta la producción, evita el desgaste de los trabajadores, etc.

**Tabla 7.** Planes de acción dirigidos a hábitos y prácticas industriales. Fuente: propia, octubre de 2016.

DIRIGIDO A	DESCRIPCIÓN
PERSONAL DE LA EMPRESA	Documentar la información que tienen las personas u operarios, que están directamente y constantemente, involucrados con los procesos de producción, fruto de la experiencia del tiempo de trabajo; esta información puede servir como insumo, para análisis, estudio, etc., de los procesos, hábitos y prácticas de la industria del plástico.
	Aplicar soluciones de ingeniería de procesos, por ejemplo el SMED, acrónimo de <i>Single Minute Exchange of Die</i> , durante el cambio de moldes en la fabricación de diferentes productos/referencias.
	Capacitar al personal de la empresa sobre los temas relacionados a la aplicación del modelo MEAEEI, principalmente a los operarios en cuanto a las acciones para mejorar el desempeño energético y promoviendo una cultura energética en la empresa.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se hace uso de NTC-ISO 50001, que está enfocada en llevar a cabo la implementación de un SGE en organizaciones, con el fin de proponer y desarrollar un modelo para el estudio y análisis de la EE para cualquier organización, bajo este enfoque, se propuso un modelo que se denomina Modelo de Estudio y Análisis de Eficiencia Energética para la Industria, MEAEEI, que permite realizar un levantamiento de información organizado y sistemático, hacer un diagnóstico energético y generar unas acciones enfocadas a mejorar el desempeño energético de la empresa, mediante cuatro ejes: equipos industriales, instalaciones eléctricas y calidad de la energía, procesos industriales y finalmente, hábitos y prácticas industriales. Para ello, se propone una guía para la aplicación del MEAEEI, estructurada en nueve pasos: 1) revisión general de la organización, 2) levantamiento de la información, 3) revisión energética, 4) línea de base energética, 5) indicadores de desempeño energético, 6) objetivos y metas energéticas, 7) planes de acción, 8) documentación y 9) implementación opcional de tecnologías; justificándose así este trabajo de grado y aportando al cómo de la implementación de NTC-ISO 50001 en las industrias.
- Evaluar la calidad de la energía eléctrica y de las instalaciones eléctricas, es uno de los principales factores que pueden incidir en la mejora de la EE, ya que con las condiciones idóneas para el funcionamiento de los equipos y especialmente de los motores, se generaran mejores prestaciones, disminuyendo pérdidas y deterioro prematuro, no obstante, así se haya seguido un procedimiento para diagnosticar la calidad de la energía eléctrica en EPO LTDA., soportado en los lineamientos de las normas vigentes, esto no implica que el resultado obtenido en EPO Ltda., se pueda aplicar a cualquier organización, en este caso las recomendaciones dependerán de cada caso específico, según los resultados que arroje el diagnóstico en cada organización.
- La implementación de un modelo como MEAEEI en una organización, puede implicar algunos cambios organizacionales y tecnológicos, en los procesos y equipos, sin embargo, cuando no existe una documentación adecuada, dirigida por un profesional, todos esos cambios pueden verse afectados por la mala operación de los equipos y procesos ineficientes, resultado de las malas prácticas y hábitos laborales. Por lo tanto, es esencial acompañarse de un auditor experto que evalúe el proceso, determinando si la forma en que se operan los equipos es la más adecuada.
- La utilización de motores de alta eficiencia, no siempre resulta ser la única alternativa de cambios tecnológicos viable que pueda conducir a mejorar la EE, cuando se considere implementar un motor de esas características, es importante evaluar el potencial ahorro, soportado en las horas de uso, rango de potencia y la posibilidad de adaptar otro complemento tecnológico que maximice

el ahorro. De esta manera se puede tener una aproximación de la relación costo-beneficio que implicaría ese cambio.

- La implementación del MEAEEI en la empresa EPO Ltda., permitió conocer un poco de la problemática que enfrentan la mediana y pequeña empresa, en términos de EE en Colombia, desde un caso particular, concibiendo que en ese tipo de organizaciones, donde no prima la solvencia económica, resulta ser determinante mejorar continuamente los procesos, la EE y reducir costos operacionales, para mantenerse a flote bajo las condiciones de competitividad, que le exige el mercado actual. De esta manera, se propusieron alternativas que involucran mantener el flujo de los procesos, estructurar planes de producción en lotes, disminuyendo tiempos perdidos en cambios de líneas de producción y en general, cambios que pueden ser organizacionales, que no necesariamente conlleven realizar una inversión económica.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda profundizar en los ejes de procesos industriales y de hábitos y prácticas industriales, ya que la aplicación del modelo MEAEEI se enfocó en los ejes de equipos industriales, y de instalaciones eléctricas y calidad de la energía eléctrica, por lo tanto, todos los cambios que impliquen una inversión en equipos y tecnologías, que se puedan realizar, deberán ir acompañados de la documentación de procesos, hábitos y prácticas industriales, de tal manera que no se limite el impacto que puedan conllevar esos cambios, debido a la interacción humana, mediante prácticas inadecuadas.
- Debido a que los resultados del trabajo se enfocaron en los ejes de equipos industriales y de instalaciones eléctricas y calidad de energía eléctrica, se recomienda contemplar los planes de acción, en conjunto con la documentación sobre las mejoras de procesos, hábitos y prácticas laborales/industriales, que conduzcan a transmitir la información acerca de la forma correcta de interactuar en los procesos y operar los equipos. Con el fin de buscar una sinergia entre los cuatro ejes propuestos en el MEAEEI, de tal manera que las mejoras en la EE no sean neutralizadas.
- Se recomienda incorporar personal experto, como asesores externos, que puedan verificar los resultados del modelo MEAEEI, desde el levantamiento de la información hasta los planes de acción resultantes.

## **5.3. TRABAJOS FUTUROS**

Los IDE deben cumplir con unas especificaciones muy precisas establecidas en NTC-ISO 50001, por lo que se proponen realizar un buen trabajo en este temas que arroje como resultado IDE para la industria, indicando cómo hacerlos particularmente para cada industria y dar unos ejemplos de cuáles podrían ser utilizados de forma general para cualquier industria, enfocados en consumo energético y producción.

Realiza un trabajo exclusivo de relación costo beneficio para planes de acción, en el que se puedan clasificar más detalladamente, las acciones, recomendaciones, etc., resultantes de modelos de EE o afines, con costos reales y actuales, ya que esto es lo que más interesa como industrial.

La sola documentación de procesos, hábitos y prácticas de las organizaciones, es fundamental para realizar trabajos enfocados en generar eficiencia en ellas, tomando el caso de la industria, este tipo de información debe de estar basada y/o respaldada en metodologías, normas, estándares, etc., con los cuales se pueda generar EE, tanto en los activos físicos de la empresa, como en el personal que trabaja en ella, complementando el trabajo presente.

## REFERENCIAS

- [1] AChEE, “Nuevas Normas de la Serie 50000.” [Online]. Available: <http://guiaiso50001.cl/nuevas-normas-de-la-serie-iso-50000/>. [Accessed: 29-Jun-2016].
- [2] AENOR, “UNE-EN 50001:2011,” 2010. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0048336&pdf=>. [Accessed: Jun-2016].
- [3] M. Alpha, A. Borrero, J. Correa, M. Curbelo, A. Díaz, and R. González, “Design and implementation of a planning process for energy according to NC-ISO 50001:2011 [Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001:2011],” *Ing. Energética*, vol. 35, no. 1, pp. 38–47, 2014.
- [4] ANSI, “Sistemas de Gestión Energética ANSI/MSE 2000”. 2008.
- [5] K. E. Arzen, and C. Johnsson, “Object-oriented SFC and ISA-S88.01 recipes,” Presented at the World Batch Forum. ISA Transactions. Lund, Sweden, 1996.
- [6] J. C. Avella Campos, O. F. Caicedo Prías, E. C. Oqueña Quispe, J. R. Medina Vidal, and E. D. Figueroa Lora, “Modelo de gestión energética para el sector productivo nacional,” *Revista Prospectiva*, vol. 6, no. 30, pp. 18–31, 2008.
- [7] J. C. Avella, T. Ospino, J. Prías, E. Quispe, and J. Vidal Medina, “Modelos de gestión energética. Un análisis crítico. Primer Congreso Internacional de Materiales, Energía y Medio Ambiente,” Universidad Autónoma del Caribe, Programa de Ingeniería Mecánica. 2007.
- [8] J.C Avella, O.M Prías, UPME. COLCIENCIAS. Calidad de la Energía Eléctrica.
- [9] J C Avella, O M Prías, UPME, COLCIENCIAS. Corrección del factor de potencia y control de la demanda.
- [10] Banco Mundial, “Infografía: ¿Qué significa el cambio climático para África y Asia?,” 2013.
- [11] M. Beltrán Rico and A. Marcilla Gomis, *Tecnología de Polímeros - Procesado y propiedades*. Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones. 2012.
- [12] J. C. Campos, “Caracterización del uso de la energía en el sector industrial en la ciudad de Barranquilla”. *Revista Magazín*. ISSN 1900 9119, No 11, p 27.
- [13] J. C. Campos, R. P. Castrillón E. Quispe, and M. Urhan, “Modelo de gestión energética colombiano: desarrollo, experiencias y resultados de aplicación y

perspectivas futuras de desarrollo," IX Congreso Nacional y IV Internacional de Ciencia y Tecnología del Carbón y Combustibles Alternativos.

- [14] J. C. Campos Avella, and O. F. Prías Caicedo, Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía, Guía con base en la norma ISO 50001, Sistema de Gestión Integral de la Energía, Primera Ed. Bogotá, 2013.
- [15] J. G. Castaño, and J. G. Vanegas, "Modelos de gestión energética: revisión de algunas experiencias internacionales y perspectivas para Colombia". Trilogía, no. 6, pp. 77–92, 2012.
- [16] CEN, "Norma de Gestión Energética Alemana DIN-EN ISO 50001". 2011.
- [17] CIA, "The World FactBook: Colombia," 2016. [Online]. Available: <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/co.html>.
- [18] Contet, P. "Guide to resource efficiency in manufacturing", 2012.
- [19] DANE, "Comunicado de prensa - Resultados del PIB," Bogotá, 2016.
- [20] El Empaque, "Industria colombiana de plástico mueve USD\$4.000 millones," Septiembre de 2012.
- [21] El Heraldo, "Carga tributaria de empresas es del 68%: ANDI," Octubre de 2014.
- [22] El País, "¿Qué tan cerca estamos de un nuevo apagón?," Bogotá, 28-Feb-2016.
- [23] El Tiempo, "Las bolsas plásticas pequeñas tienen los días contados en Colombia," Abril de 2016.
- [24] Empaques Plásticos de Occidente Ltda. Cali, Colombia. <http://epo.com.co/>
- [25] euRECIPE, Consumo de energía reducido en Ingeniería de Plásticos, Intelligent Energy EUROPE, 2016.
- [26] EUROMAP (Technical Commission).EUROMAP 60: Injection Moulding Machines. Determination of Specific Machine Related Energy Consumption. 2.0. 2009.
- [27] EUROMAP (Eoruepan Plastics and Rubber Machinery).EUROMAP 60.1: Injection Moulding Machines. Determination of Machine Related Energy Efficiency Class. 3.0. 2013.
- [28] FAO, "Los desechos de plástico invaden nuestros océanos," Agosto de 2015. [Online]. Available: <http://www.fao.org/news/story/es/item/319970/icode/>.

- [29] D. W. Fleming, and V. Pillai, S88 Implementation Guide. McGraw-Hill, New York, 1998.
- [30] C. Funnell, "Cambio climático: Panorama general," Banco Mundial, Washington, D.C. 2015. [Online]. Available: <http://www.bancomundial.org/es/topic/climatechange/overview>.
- [31] L. J. Garay, "Colombia: estructura industrial e internacionalización 1967-1996". Santafé de Bogotá: Cargraphics S.A., 1998.
- [32] S. García Fernández-Villa, "Los Plásticos en el Arte y el Diseño hasta 1945: Historia, Tecnología, Conservación e Identificación," Universidad Complutense de Madrid, 2010.
- [33] Henkel, "Sostenibilidad," Estrategia de Sostenibilidad, [Online]. Available: <http://www.henkel.com.co/sostenibilidad>.
- [34] R. Holy, and J. Pozivil, "Batch control system Project for a pharmaceutical plant," ISA Transactions. Czech Republic, 2001.
- [35] ICONTEC, "Norma Técnica Colombia NTC-ISO 50001". 2011.
- [36] International Energy Agency, Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas, 2016.
- [37] A. Ipakchi y F. Albuyeh, "Grid of the future", Power and Energy Magazine, vol. 7, no. 2, 2009.
- [38] ISO, "ISO 50002:2014 – Energy audits" 2014.
- [39] J. Y. Kim, "Discurso de Jim Yong Kim, presidente del Grupo Banco Mundial: La arremetida final para acabar con la pobreza extrema a más tardar en 2030," Washington, D.C., 2015.
- [40] Iván D. López, Juan C. Ortiz, Eficiencia energética en el proceso de moldeo por inyección, Revista Tecnología del plástico, Junio de 2014
- [41] E. Martínez Narváez, "Propuesta de Escalamiento Industrial del Proceso de Extrusión para Películas Biodegradables bajo el marco del proyecto 'Investigación y Desarrollo de Empaques Biodegradables,'" Universidad del Cauca, 2015.
- [42] D. McCloskey, "Review of the Cambridge Economic History of Modern Britain," Times Higher Education Supplement, 2004.
- [43] Ministerio de Minas y Energía, "Colombia avanza en la política pública de Eficiencia Energética 2016-2020," Bogotá D.C., 2016.

- [44] Ministerio de Minas y Energía, “Ley 143 de 1994 - Ley Eléctrica,” Diario Oficial 41.434, del 12 de julio de 1994.
- [45] Ministerio de Minas y Energía, “Ley 697 de 2001 – Ley URE,” Diario Oficial No. 44573. 5 de octubre de 2001.
- [46] Ministerio de Minas y Energía, “Ley 1715 de 2014 – Ley de Energías Renovables,” Diario Oficial No. 49150. 13 de mayo de 2014.
- [47] Ministerio de Minas y Energía, “Proyecto de Decreto de Ley de Autogeneración,” p. 3, 1997.
- [48] Noriega, M. d. Uso eficiente de la energía en el procesamiento de plásticos. Revista, "Tecnología del plástico", 2009.
- [49] Noriega M; Ledezma J M, Guía para alcanzar la eficiencia energética en la transformación de plásticos, 2013.
- [50] Mark Elsass, C. M. (2010). Evaluating Energy Consumption of Molding Machines: ¿What Have We Learned in 40 Years? .Plastics Business
- [51] D. Montaña, and O. Prías, “Modelo Estratégico de Innovación para impulsar la Gestión Energética en Colombia,” Rev. Energética, vol. 44, pp. 61–68, 2014.
- [52] P. R. Nelson, and R. S. Shuli, “Organizing for an initial implementation of S88,” ISA Transaction. USA, 1997.
- [53] ONU, “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático,” Protoc. Kyoto, vol. 61702, p. 20, 1998.
- [54] ONUDI, “Informe sobre el Desarrollo Industrial 2011, Eficiencia energética industrial para la creación sostenible de riqueza,” 2011.
- [55] Plastics Europe, “La industria plástica mide medidas para incrementar su competitividad,” Mayo de 2014.
- [56] Revista Dinero, “A Colombia no le va bien en innovación,” Julio de 2014.
- [57] Quispe Enrique, Efectos del desequilibrio de tensiones sobre la operación del motor de inducción trifásico. Universidad del valle. 2012.
- [58] RETIE, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. "Ministerio de minas y Energía.", 2005.
- [59] O. Rojas, Material de clase ISA. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- [60] J. A. Rosero, S. M. Téllez, and O. F. Prías, “Integral energy management for industrial process,” Rev. Visión Electrónica, vol. 7, no. 2, pp. 175–184, 2013.

- [61] Schaefer J. J. "ISA-S88.01-1995 impact on design and implementation of batch control systems," ISA Transactions. USA, 1996.
- [62] Tecnología del Plástico, "Inicia legislación sobre racionalización, reutilización y reciclaje de bolsas plásticas en Colombia," Marzo de 2011.
- [63] Tecnología del Plástico, "Panorama de la industria colombiana de empaques y envases plásticos," Abril de 2016.
- [64] UNAM, "La Revolución Industrial." [Online]. Available: [http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/historia/carrera\\_historia\\_rev\\_ind.html](http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/historia/carrera_historia_rev_ind.html).
- [65] UPME, "Proyección de Demanda de Energía en Colombia," Revisión de Octubre de 2010, p. 90, 2010.
- [66] World Bank, Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal. Washington DC, 2014.
- [67] World Energy Council, "El estudio del Consejo Mundial de la Energía destaca los enormes desafíos para el sistema energético de América Latina y el Caribe," 2014.
- [68] World Energy Council, "World Energy Scenarios. Composing energy futures to 2050," World Energy Council. Regency House, p. 284, 2013.
- [69] Xaloy. Energy Reduction through induction heating in polymer processing. 2008.



## **ANEXOS**



**JUAN MARCEL CAICEDO CUCHIMBA**

**VLADIMIR TOBAR ESCOBAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**POPAYÁN**

**2016**

## TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS

LISTA DE FIGURAS DE ANEXOS.....	93
LISTA DE TABLAS DE ANEXOS.....	96
LISTA DE ECUACIONES DE ANEXOS.....	98
1. ANEXO 1: GUÍA ESPECIALIZADA DE PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA INDUSTRIALES.....	99
1.1. GUÍA PARA EQUIPOS INDUSTRIALES .....	100
5.3.1. Estado de equipos eléctricos.....	101
5.3.2. Motores eléctricos.....	104
5.3.3. Sugerencias tecnológicas para EE.....	110
5.4. GUÍA PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y CALIDAD ENERGÉTICA	114
5.4.1. Instalaciones eléctricas.....	115
5.4.2. Potencia eléctrica .....	119
5.4.3. Sistemas de iluminación.....	123
5.5. GUÍA PARA PROCESOS INDUSTRIALES .....	124
5.5.1. Banco de reglas/recomendaciones.....	125
5.6. GUÍA PARA HÁBITOS Y PRÁCTICAS INDUSTRIALES .....	125
5.6.1. Banco de reglas/recomendaciones.....	127
2. ANEXO 2: APLICACIÓN DEL MEAEI AL CASO DE ESTUDIO EMPAQUES PLÁSTICOS DE OCCIDENTE LTDA.....	128
2.1. REVISIÓN GENERAL DE LA EMPRESA .....	128
2.1.1. Activos físicos.....	128
2.1.2. Producción.....	135
2.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	139
2.2.1. Procesos industriales.....	139
2.2.2. Equipos industriales.....	152
2.2.3. Instalaciones eléctricas y calidad de la energía.....	159
2.2.4. Hábitos y prácticas industriales .....	176
2.3. REVISIÓN ENERGÉTICA.....	176
2.3.1. Diagnóstico energético .....	176
2.3.2. Línea de consumo energético .....	183
2.3.3. Indicadores energéticos.....	185
2.3.4. Listado de acciones.....	187
2.4. LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA .....	189
2.5. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO.....	189
2.6. PLANES DE ACCIÓN .....	190
3. ANEXO 3: INDICADORES ENERGÉTICOS E INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO.....	191
3.1. IDENTIFICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO .....	191
3.1.1. IDE e IE para la industria.....	191
REFERENCIAS DE ANEXOS .....	194

## LISTA DE FIGURAS DE ANEXOS

Figura 1. Partes de un motor eléctrico de inducción. Fuente: [4].	104
Figura 2. Pérdidas de un motor eléctrico. Fuente: [5].	106
Figura 3. Desempeño energético de la eficiencia de motores eléctricos. Fuente: [20].	107
Figura 4. Efectos del sobredimensionamiento en potencia para motores eléctricos. Fuente: [20].	109
Figura 5. Efecto de variadores de velocidad en la eficiencia energética de los motores eléctricos. Fuente: [20].	111
Figura 6. Eficiencia energética en motores de alta eficiencia con <i>INSWITCH</i> , para el factor de potencia y la ganancia de EE. Fuente: [10].	112
Figura 7. Eficiencia en la transmisión de potencia de las correas. Fuente: [10].	113
Figura 8. STP dedicadas e interconectadas. Fuente: [22].	116
Figura 9. Efecto del desbalance de tensión en el motor. Fuente: [11].	120
Figura 10. Efecto de un filtro activo en la forma de onda. Fuente: [24].	121
Figura 11. Efectos de la distorsión armónica de la red sobre la potencia nominal del motor. Fuente: [18].	122
Figura 12. Aumento en la corriente RMS y en las pérdidas de Joule como función THD4. Fuente: [8].	122
Figura 13. Máquina de moldeo por inyección San Shum. Fuente: propia, Junio 2016.	129
Figura 14. Máquina de moldeo por inyección del plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.	129
Figura 15. Máquina de moldeo por soplado del plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.	130
Figura 16. Máquina grande Bekum, de moldeo por soplado del plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.	131
Figura 17. Gabinete de la sopladora Bekum. Fuente: propia, Junio de 2016.	131
Figura 18. Máquina de moldeo por soplado de plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.	132
Figura 19. Molino de plásticos pequeño. Fuente: propia, Junio de 2016.	132
Figura 20. Molino de plástico grande. Fuente: propia, Junio de 2016.	133
Figura 21. Compresor. Fuente: propia, Junio de 2016.	133
Figura 22. Chiller. Fuente: propia, junio de 2016.	134
Figura 23. Sistema de iluminación de EPO Ltda. Fuente: propia, junio de 2016.	134
Figura 24. Diagrama de flujo por etapas del proceso de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.	140
Figura 25. Diagrama de flujo por operaciones del proceso de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.	141
Figura 26. Diagrama del modelo de proceso de inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.	143
Figura 27. Diagrama de flujo por etapas del proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.	144
Figura 28. Diagrama de flujo por operaciones del proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.	145

Figura 29. Diagrama del modelo de proceso del moldeado por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.....	147
Figura 30. Diagrama de flujo por etapas del proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	148
Figura 31. Diagrama de flujo por operaciones del proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	149
Figura 32. Diagrama del modelo de proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	151
Figura 33. Modelo físico de la empresa EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	154
Figura 34. Relación entre modelos ISA-S88 para el proceso de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.....	157
Figura 35. Relación entre modelos ISA-S88 para el proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.....	158
Figura 36. Relación entre modelos ISA-S88 para el proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	158
Figura 37. Analizador de red, Dranetz Power Visa. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	164
Figura 38. Conexión analizador de red Dranetz. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	165
Figura 39. Diagrama 1 de tendencias de tensiones de las líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.....	167
Figura 40. Diagrama 2 de tendencias de tensiones de las líneas A, B y C. Fuente propia, agosto de 2016.....	167
Figura 41. Diagrama fasoriales 60 Hz de tensiones. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	168
Figura 42. Formas de onda señales de tensión del transformador. Fuente: propia, agosto de 2016.....	168
Figura 43. Tendencias desequilibrio de tensiones. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	168
Figura 44. Diagrama 1 tendencias de corrientes de líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.....	169
Figura 45. Diagrama 2 de tendencias de corriente de líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.....	170
Figura 46. Formas de onda de las señales de corriente del transformador. Fuente: propia, agosto de 2016.....	170
Figura 47. Diagrama fasoriales 60 Hz de corriente. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	170
Figura 48. Diagrama de DFT. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	171
Figura 49. Diagrama de fase de armónico en tensión para las líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.....	171
Figura 50. Diagrama de tendencia del factor de potencia. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	172
Figura 51. Gráfica del consumo mensual de energía activa. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	174
Figura 52. Gráfica de consumo de energía reactiva. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	175

Figura 53. Mapa procesos energéticos EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016. .....	175
Figura 54. Efectos del bajo Factor de Potencia en conductores. Fuente: [32]. ...	182
Figura 55. Comportamiento demanda energía eléctrica. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	184
Figura 56. Comportamiento producción de EPO. Fuente: propia, agosto de 2016. .....	185
Figura 57. Comportamiento del consumo de energía eléctrica vs producción. Fuente: propia, agosto de 2016.....	185
Figura 58. Instalación de medidores para cálculo de indicadores energéticos específicos en cada proceso. Fuente: propia, agosto 2016. ....	186
Figura 59. Clasificación de indicadores energéticos industriales por niveles, según la AIE. Fuente: [34].....	192
Figura 60. Tabla de características de indicadores energéticos de nivel 2. Fuente: [34]. ....	193
Figura 61. Tabla de información adicional para indicadores de nivel 4. Fuente: [34] .....	193

## LISTA DE TABLAS DE ANEXOS

Tabla 1. Guía de recomendaciones para estado de equipos eléctricos. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	103
Tabla 2. Datos nominales en los motores eléctricos. Fuente [1]. ....	105
Tabla 3. Valores modificados para redes de 60 Hz. Fuente: [5]. ....	106
Tabla 4. Guía de recomendaciones para motores eléctricos. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	109
Tabla 5. Guía de recomendaciones para sugerencias tecnológicas para eficiencia energética. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	114
Tabla 6. Guía de recomendaciones para instalaciones eléctricas. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	118
Tabla 7. Guía de recomendaciones para calidad energética. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	122
Tabla 8. Guía de recomendaciones para sistemas de iluminación. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	124
Tabla 9. Guía de recomendaciones para estado de equipos eléctricos. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	125
Tabla 10. Guía de recomendaciones para hábitos y prácticas industriales. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	127
Tabla 11. Capacidad de producción de EPO Ltda. Fuente: propia, Junio de 2016. ....	135
Tabla 12. Productos fabricados por EPO Ltda. Fuente: propia, julio de 2016. ....	136
Tabla 13. Características de productos. Fuente: propia, julio de 2016. ....	137
Tabla 14. Descripción de los productos realizados por cada máquina. Fuente: propia, julio de 2016. ....	137
Tabla 15. Molienda de material recuperado en EPO Ltda. Fuente: propia, julio de 2016. ....	138
Tabla 16. Materia prima utilizada en EPO Ltda. Fuente: propia, julio de 2016. ....	138
Tabla 17. Tabla de bajo detalle del flujo de materiales del proceso de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	140
Tabla 18. Modelo de proceso del moldeado por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	142
Tabla 19. Tabla de bajo detalle de entradas y salidas de flujo de materiales del proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	144
Tabla 20. Modelo de proceso del moldeado por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	146
Tabla 21. Tabla de bajo detalle de entradas y salidas de flujo de materiales del proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	148
Tabla 22. Modelo del proceso de molienda para reciclar material plástico. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	150
Tabla 23. Modelo físico de la unidad de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	154
Tabla 24. Modelo físico de la unidad de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	155

Tabla 25. Modelo físico de la unidad de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016. .....	156
Tabla 26. Conductores en instalaciones eléctricas de EPO Ltda. Fuente: propia agosto de 2016.....	160
Tabla 27. Formato de censo de carga. Fuente: [26].....	162
Tabla 28. Consumo actual del sistema de iluminación de lámparas fluorescentes. Fuente: propia, agosto de 2016.....	163
Tabla 29. Consumo proyectado después del cambio del sistema de iluminación por lámparas led. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	164
Tabla 30. Rango de tensiones establecidas según la norma NTC 1340. Fuente: [28]. .....	166
Tabla 31. Valores de tensión entre líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016. .....	166
Tabla 32. Resumen de los peores casos en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto 2016. .....	169
Tabla 33. Consumo mensual de energía activa de la empresa EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.....	173
Tabla 34. Consumo mensual de energía activa. Fuente: propia, agosto de 2016. .....	174
Tabla 35. Índices de consumo energético por unidad de producción. Fuente: propia, agosto de 2016.....	183
Tabla 36. Listado de acciones sugeridas. Fuente: propia, agosto de 2016.....	187
Tabla 37. Principales indicadores energéticos. Fuente: propia, octubre de 2016. .....	189
Tabla 38. Planes de acción dirigidos instalaciones eléctricas y calidad de la energía. Fuente: propia, octubre de 2016. ....	190

## LISTA DE ECUACIONES DE ANEXOS

Ecuación 1. Potencia disipada en el estator.....	105
Ecuación 2. Potencia mecánica. ....	105
Ecuación 3. Potencia final. ....	105
Ecuación 4. Eficiencia energética en motores de inducción.....	106
Ecuación 5. Ahorro de energía anual en motores de alta eficiencia.....	108
Ecuación 6. Potencia aparente (kVA). Fuente: [2].....	117
Ecuación 7. Potencia efectiva o activa (kW). Fuente: [2]. ....	117
Ecuación 8. Potencia reactiva (kVAR). Fuente: [2].....	117
Ecuación 9. Factor de potencia. Fuente: [24].....	117
Ecuación 10. Frecuencia fundamental de potencia. Fuente: [24].....	117
Ecuación 11. Consumo de energía por mes. Fuente: propia, agosto de 2016....	161
Ecuación 12. Cantidad de lámparas fluorescentes. Fuente: propia, septiembre de 2016. ....	163
Ecuación 13. Potencia de una lámpara fluorescente. Fuente: propia, septiembre de 2016. ....	163
Ecuación 14. Potencia total. Fuente: propia, septiembre de 2016. ....	163
Ecuación 15. Cálculo de horas de funcionamiento de lámparas. Fuente: propia, septiembre de 2016.....	163
Ecuación 16. Energía total consumida. Fuente: propia, septiembre de 2016. ....	163
Ecuación 17. Ecuación índice consumo energético. Fuente: propia, agosto de 2016. ....	183
Ecuación 18. Aplicación de la ecuación del índice de consumo energético. Fuente: propia, agosto de 2016.....	183



## 1. ANEXO 1: GUÍA ESPECIALIZADA DE PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA INDUSTRIALES

Se presenta una serie de preceptos especializados, encaminados a la aplicación de buenas prácticas de EE en la industria, convirtiéndolo en una fuente de información de gran valor para los industriales, necesaria para obtener una serie de acciones que mejoran equipos, procesos, etc., generando eficiencia en la producción y en el uso y consumo de la energía. Sin estas guías, obtener estos resultados es un proceso tedioso y conlleva una inversión significativa de tiempo y otros recursos.

Esta guía es estructurada según el MEAEEI, por lo cual a cada uno de los ejes de este modelo le corresponde una guía especializada. Básicamente, el procedimiento asociado al MEAEEI es hacer un levantamiento de información de los cuatro ejes y realizar un diagnóstico. Se realiza el cruce de información con estas guías, con lo cual al tener la información de instalaciones eléctricas, calidad energética, equipos, procesos, hábitos y prácticas, es posible tener unas acciones dirigidas específicamente a cada uno de estos ejes, de tal manera que su comportamiento se vea en una gráfica de línea de consumo energético que corresponda con unos IE. La estructura general de esta guía, es la siguiente:

- Guía para equipos industriales.
- Guía para instalaciones eléctricas y calidad energética (o de la energía).
- Guía para procesos industriales.
- Guía para hábitos y prácticas industriales.

Los cuatro ejes del MEAEEI y la correspondencia con las cuatro guías anteriores, se hizo a propósito, con el fin de que el industrial, al realizar el diagnóstico energético, conozca en forma simple que guía utilizar.

Las cuatro guías especializadas se relacionadas entre sí, en muchos casos se puede ver cómo un mismo tema es abarcado desde diferentes formas, encajando dentro de la sección específica y relacionándose con las otras guías. Por ejemplo, existe una serie de factores que impiden el correcto funcionamiento de los motores eléctricos, estos se relacionan con la calidad de energía suministrada por el operador de red y las condiciones de las instalaciones eléctricas de la empresa; para que un motor funcione correctamente, se deben garantizar unas condiciones mínimas definidas por el fabricante (condiciones nominales), que involucra a las guías para equipos industriales y para instalaciones eléctricas y calidad energética.

Las recomendaciones que se presentan más adelante, pueden generar disminución del consumo de energía y mejoras en procesos, pero establecer una frontera clara y cuantitativa del efecto que tienen, no es posible, ya que en la práctica interviene una gran cantidad de factores que muchas veces no son posibles eliminar o medir, así que siempre afectarán a las acciones tomadas y a los indicadores propuestos.

## 1.1. GUÍA PARA EQUIPOS INDUSTRIALES

Se considera la guía más importante de las cuatro, ya que en la industria, los motores representan más del 60% de la energía empleada en sus procesos [4], esto quiere decir que los mayores costos de la industria son generados por el consumo de la energía asociada a los motores, por lo cual, mejoras en su consumo energético, resulta en grandes beneficios al industrial, al medio ambiente, etc.

La guía también respalda el orden que propone el MEAEEI, indicando directrices del estado de equipos eléctricos, motores eléctricos y sugerencias de tecnologías para EE, en este orden se proponen una serie de preceptos que den soluciones y/o indiquen donde afrontar problemas de los equipos utilizados en los procesos de la industria. A continuación se presenta una descripción de los tres componentes de la presente guía:

- Estado de equipos eléctricos: encamina al lector a generar soluciones a problemas identificados del levantamiento de la información de equipos eléctricos y demás maquinaria. De esta forma, es posible identificar focos de ineficiencia, generar planes de mantenimiento preventivo, reemplazar equipos que mejoren la relación costo-beneficio, etc.
- Motores eléctricos: información de referencia, considerando diferentes datos, como potencia, frecuencia, eficiencia, etc., de los motores eléctricos. Otra parte está enfocada en los motores de alta eficiencia, presentando información de regulación y establecimiento de condiciones mínimas de desempeño de estos motores, etc. La parte final se centra en la identificación y selección del motor adecuado para un óptimo desempeño en la industria.
- Sugerencias de tecnologías para EE: información para hacer más eficiente a los equipos con cargas variables, las tecnologías que se sugieren son las siguientes: variadores de velocidad, Troceadores de tensión, arrancadores suaves y dispositivos *InSwitch* y elementos de transmisión mecánica. Se aclara que estos son solo algunos ejemplos, ya que actualmente son demasiadas las opciones de tecnológicas utilizadas para mejorar la EE en la industria.

Finalmente, las recomendaciones que presenta esta guía, están diseñadas según el MEAEEI, clasificándolas así:

- Recomendaciones antes de la aplicación: sugerencias para realizar antes de la aplicación de una implementación de un sistema de gestión de la energía, especialmente del MEAEEI.
- Recomendaciones durante/después de la aplicación: sugerencias que se deben de hacer mientras se implementa el MEAEEI o después de la aplicación del MEAEEI, con el fin de tener acciones que generen EE.

- Recomendaciones generales: sugerencias que se dan para apoyar las recomendaciones anteriores, encaminadas a complementar la EE, es decir, generar eficiencia en procesos, prácticas, hábitos, etc.

### **5.3.1. Estado de equipos eléctricos**

Los equipos forman parte fundamental de los procesos industriales e inciden directamente en su desempeño energético, a raíz de esto, determinar el estado funcional en que se encuentran es una buena estrategia para establecer los focos de ineficiencia. La supervisión de estas condiciones implica evaluar las causas de posibles fallos, como:

- Deterioro y desgaste, debido a condiciones ambientales y operativas (RCD\_EQ01).
- Problemas de diseño, que afectan la producción y desempeño energético (RCD\_EQ02).
- Fallas en el mantenimiento y problemas de operación del equipo.
- Reemplazo de equipos.

La EE, en relación con estos equipos, puede depender de las condiciones de operación del equipo y la manera en que se opera el mismo, estos hechos inciden directamente en la confiabilidad operativa de los equipos, reflejándose, a su vez, en la EE del proceso (RCA\_EQ01).

#### **5.3.1.1. Mantenimiento preventivo centrado en la EE**

El objetivo del mantenimiento es garantizar la disponibilidad operativa y la confiabilidad de los equipos y maquinaria de trabajo, con el fin de reducir, las causas de fallos que puedan ocasionar tiempos de trabajo perdidos, considerando procedimientos que implican acciones preventivas enfocadas en la prevención de fallas y acciones predictivas, que por falta de tareas preventivas corresponden a estrategias contra las fallas. Este conjunto de acciones están enfocadas en mantener la EE, premisa que en la actualidad no se considera fundamental, por el desconocimiento de los beneficios que puede aportar (RCA\_EQ01).

Una de las causas por las cuales no se analiza la EE en los planes de mantenimiento, se debe a la idea popular de; que mientras no se afecte la producción o disponibilidad de los equipos, estos no se intervienen. Muchos equipos presentan fallas, debido al deterioro de su estado mecánico, como desajustes, desbalanceo, superficies de control de calor sucias, entre otras; estas causas provocan el aumento del consumo de recursos energéticos, que son difíciles de detectar porque se desconocen consumos específicos, además de la falta de criterios técnicos para evaluar los efectos del mantenimiento [3] (RCD\_EQ03).

En motores eléctricos, el MTBF es un buen indicador del tiempo de vida y condición en que se encuentra el mismo, para determinar posibles cambios o mantenimiento de equipos. Generalmente, la mayor causa de fallas en las bobinas de los motores

está asociada a cortocircuitos y condiciones de trabajo no aptas, en las cuales se recomienda realizar pruebas de medida especializadas, sugeridas por normas internacionales (RCA\_EQ02). A continuación se mencionan algunas de esas pruebas, que determinan el estado de los motores eléctricos evaluados sobre parámetros específicos de acuerdo a las siguientes normas:

- Resistencia (IEEE Std 118-1978, IEEE Std 389-1996), utilizada para detectar variaciones de tamaño del alambre, conexiones y circuitos de abierta/alta resistencia.
- Inductancia (IEEE Std 388-1992, IEEE Std 120-1989), la inductancia es una función de la geometría y de la permeabilidad. La detección de averías es posible solamente cuando la capacitancia de los sistemas dieléctricos del aislamiento llega a ser resistente y existe un circuito puesto en cortocircuito, resultando en una inductancia mutua, entre la parte buena de la bobina y las vueltas puestas en cortocircuito.
- Impedancia (IEEE Std 388-1992, IEEE Std 389-1996, IEEE Std 43-2000 e IEEE Std 120-1989), la impedancia es dependiente de la frecuencia, la resistencia, la inductancia y la capacitancia. Las pruebas de la comparación de Inductancia/Impedancia, son cubiertas por el método de prueba de la AC en el anexo B de IEEE Std 43-2000.
- Ángulo de Fase (IEEE Std 120-1989), es una medida que representa el tiempo de retraso entre el voltaje y la corriente, presentados como grados de la separación.
- Pruebas de Respuesta a Frecuencia (IEEE Std 389-1996), se representa como la reducción del porcentaje en la corriente de una bobina cuando se dobla la frecuencia, la cual se ve afectada por los cambios de capacitancia mientras aumenta la frecuencia.
- Prueba de Resistencia de Aislamiento (IEEE Std 43-2000), describe procedimientos para medir la resistencia de aislación de los bobinados de motores y afines, utilizando corriente continua.

#### **5.3.1.2. Reemplazo de equipos**

Enfocado en tres temas principales, la ineficiencia y daños, el trabajo prolongado y continuo, y la tecnología antigua, así:

- Ineficiencia y daños: cuando los equipos bajan producción, aumentan consumo de recursos y presentan fallos en diferentes partes o piezas.
- Trabajo prolongado y continuo: cuando el equipo ha trabajado durante mucho tiempo y por periodos continuos, en donde la opción de reparación no es viable por los altos costos que esto implica.

- Tecnología antigua: cuando la tecnología de los equipos no resulta ser la más adecuada para el momento, reduce la productividad de los procesos, presenta bajas prestaciones, etc.

Para realizar cambios de equipos se recomienda enfocarse en la relación costo-beneficio en términos de productividad; algunos productores incluyen en la información general de sus productos, unas etiquetas de EE que relacionan el consumo energético del mismo, a fin de determinar los costos operativos por consumo energético, de igual manera, se debe considerar la confiabilidad operativa del equipo, esta se relaciona con el tiempo de trabajo sin condiciones de fallas imprevistas, determinadas por la calidad de fabricación (RCA\_EQ02).

En la siguiente sección se sugieren algunas pautas para escoger un motor eléctrico adecuado (ver sección 5.3.2.2).

### 5.3.1.3. Banco de reglas/recomendaciones

En esta sección se encuentran las recomendaciones para la parte Estado de equipos eléctricos (sección 5.3.1). La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- RCA: Recomendaciones Antes de la aplicación del MEAEEI.
- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- RCG: Recomendaciones Generales para el MEAEEI.
- EQ: Equipos eléctricos.

**Tabla 8.** Guía de recomendaciones para estado de equipos eléctricos. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCA_EQ01	Realizar planes de mantenimiento periódico de equipos, maquinaria y de sus componentes, incluyendo la supervisión/monitoreo del funcionamiento de los equipos, registro de condiciones de operación, acciones del operario y eventos significativos.
RCA_EQ02	Realizar las pruebas de características de maquinaria y equipos eléctricos de la IEEE para: resistencia, inductancia, impedancia, ángulo de fase, de respuesta a frecuencia y de resistencia de aislamiento; con el fin de apoyar las decisiones de reemplazo o mejora de equipos industriales, mediante las relaciones costo-beneficio que el industrial considere, compensar y reorganizar las cargas, evaluar el estado de los motores a fin de encontrar el desbalance que existe entre sus fases e incluir estas pruebas en el plan de mantenimiento.
RCD_EQ01	Proteger los equipos del medio ambiente y cumplir con recomendaciones del fabricante, para evitar desgaste innecesario y aumentar su vida útil.
RCD_EQ02	Ubicar los equipos de acuerdo al flujo de procesos, donde se tendrá en cuenta las características y funciones de la maquinaria (esta recomendación se retoma en la sección 5.5).
RCD_EQ03	Instalar instrumentos, principalmente digitales, para registrar consumos específicos de los equipos y maquinaria industrial, especialmente en las áreas y equipos de uso significativo de la energía, ya que son los de mayor efecto en la EE de la empresa.

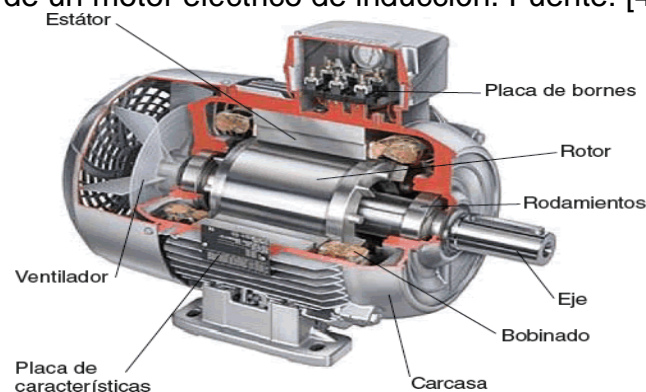
RCD_EQ04	Mantener afiladas las cuchillas para aumentar el rendimiento de la trituración.
RCD_EQ05	Revisar mangueras, válvulas, etc., evitando sitios obstruidos que impiden la circulación de agua hacia las máquinas en toda la planta.
RCD_EQ06	Adquirir sistemas de protección y respaldo para los componentes electrónicos de las máquinas, como PLC, software de los sistemas, etc.
RCG_EQ01	Incluir asesoría de personal experto en sistemas de aire y refrigeración.

### 5.3.2. Motores eléctricos

Unos de los elementos que se utilizan con mayor frecuencia en la industria, debido a la diversidad de aplicaciones en las cuales se pueden emplear. Se estima que el 60% de la energía utilizada por la industria en el mundo, es consumida por los motores eléctricos, por lo tanto, es imperativo buscar tecnologías que permitan reducir su consumo, a fin de lograr un óptimo funcionamiento de estos equipos, lógicamente, acompañados de buenas prácticas en su utilización y que resulten en buenos hábitos [4] (RCD\_M01).

Se basan en convertir la potencia eléctrica entrante (Watts), en potencia mecánica saliente (Hp o Watts), por medio de la acción de campos magnéticos de bobinas, generando movimientos rotatorios del rotor alrededor del estator; permitiéndoles ser implementados en diferentes tipos de máquinas y equipos [25] (ver Figura 45).

**Figura 45.** Partes de un motor eléctrico de inducción. Fuente: [4].



El principio básico del funcionamiento de un motor eléctrico, ha tenido pocos cambios desde su creación, en su interior existen dos devanados, uno en el estator y otro en el rotor, separados por un entrehierro delgado, permitiendo un mejor acople magnético entre los devanados. La diferencia de velocidades entre el campo del estator y la velocidad del rotor, produce deslizamientos que resultan ser la principal característica de los motores de inducción. Los devanados pueden ser: monofásicos, trifásicos o polifásicos. Una clasificación de estos motores es [25]:

- Motores de inducción de rotor de jaula de ardilla.
- Motores de rotor de anillos rozantes.

Los datos más comunes a considerar en motores de inducción son: potencia, frecuencia, corriente, factor de potencia y eficiencia (ver Tabla 9) (RCG\_M01).

**Tabla 9.** Datos nominales en los motores eléctricos. Fuente [1].

DATOS	UNIDADES
Potencia	kW o HP
Tensión de servicio	kV o V
Frecuencia	Hz
Corriente nominal	A
Corriente de arranque	A
Factor de potencia	Cos $\phi$
Eficiencia	%

El análisis de estos datos nominales, permitirá enfocar variables que inciden directamente en su EE, que se ve afectada por las características de materiales con que se construyó, parámetros de diseño, etc. Las pérdidas magnéticas, por fricción, mecánicas y en conductores del estator y rotor, varían de forma proporcional al cuadrado de la corriente ( $I^2R$ ), para el caso de las 2 últimas, se presentan por situaciones como la alimentación del motor, en cuyo caso se disipa una potencia ( $p_1$ ) en el estator (ver Ecuación 1).

**Ecuación 1.** Potencia disipada en el estator.

$$p_1 = m_1 V_1 I_1 \cos \phi_1$$

Debido a la resistencia interna del devanado del estator, se disipa potencia, lo que ocasiona pérdidas eléctricas  $\Delta PE_2$ . También, se van a producir pérdidas magnéticas en el campo del estator, con lo cual se obtiene una ecuación de balance energético [25] (ver Ecuación 2).

**Ecuación 2.** Potencia mecánica.

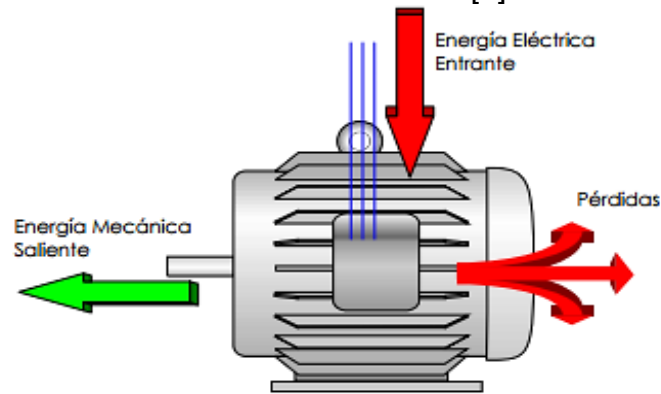
$$P_{Mec} = P_{EImagn} - \Delta P e_2$$

Considerando la potencia disipada por las pérdidas eléctricas (ver Figura 46), en el rotor  $\Delta PE_2$ , producidas por las escobillas de contacto presentes en los motores de anillos rozantes y las pérdidas adicionales, se obtiene la ecuación para la potencia final o potencia mecánica [25] (ver Ecuación 3).

**Ecuación 3.** Potencia final.

$$P_2 = P_{Mec} - \Delta P_{Fric} - \Delta P_{Adic}$$

**Figura 46.** Pérdidas de un motor eléctrico. Fuente: [5].



Cuando se ponen en funcionamiento motores de 50 Hz en redes de 60 Hz, varían algunos parámetros en su funcionamiento, considerando que las redes eléctricas pueden tener una fluctuación de frecuencia del  $\pm 1\%$ , afectando la tensión, la potencia y otros parámetros importantes (ver Tabla 10) (RCD\_M02).

**Tabla 10.** Valores modificados para redes de 60 Hz. Fuente: [5].

BOBINADO 50 Hz V	v	VELOCIDAD %	POTENCIA %	PAR NOMINAL %	PAR ARRANQUE %
220	255	+20	+15	-4	-3
380	440	+20	+15	-4	-3
500	600	+20	+15	-4	-3
220	220	+20	-	-17	-17
380	380	+20	-	-17	-17
500	500	+20	-	-17	-17

Finalmente, la EE en los motores eléctricos puede ser representada por la diferencia entre la potencia entrante y las pérdidas, en relación con la potencia de entrada [25] (ver Ecuación 4) (RCG\_M02).

**Ecuación 4.** Eficiencia energética en motores de inducción.

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ eléctrica\ entrante - Pérdidas}{Potencia\ eléctrica\ de\ entrada}$$

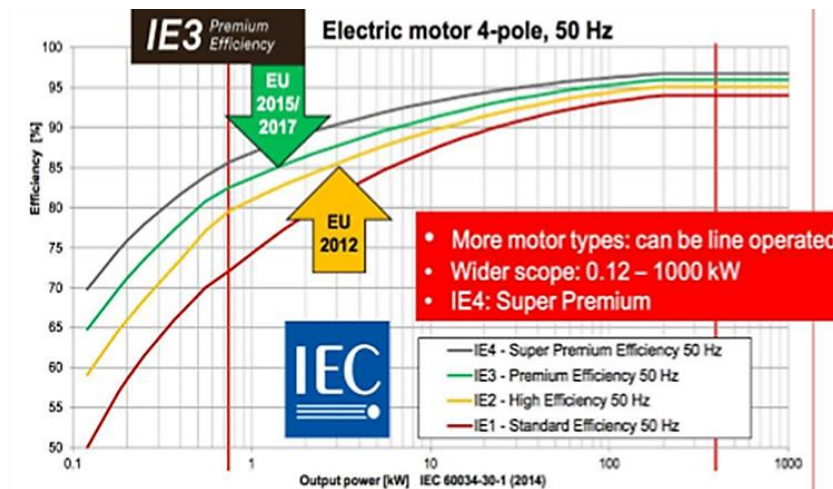
### 5.3.2.1. Motores de alta eficiencia

Permiten niveles de eficiencia mayores a los motores eléctricos tradicionales, tienen menores pérdidas de potencia, gracias a los desarrollos tecnológicos en sus componentes, materiales y diseños. Estudios económicos y técnicos relacionados con costos generales, asociados a los motores eléctricos en un periodo de trabajo de 10 años, concluyen, que el 95% de los costos están representados en el consumo energético, el 3% en gastos de mantenimiento, el 1% al valor de compra y el 1% restante se relaciona con gastos de logística e ingeniería [16]. Esto revela la importancia de tomar una buena decisión al comprar un motor (RCD\_M03, RCG\_M03).



Ante la preocupación por el alto consumo de los motores eléctricos en la industria, países desarrollados generaron estándares que regulan y establecen condiciones mínimas de desempeño para motores considerados de alta eficiencia. La NEMA, estableció en la norma IEC 60034-31 edición 1, los estándares de alta EE, partiendo del estándar EI1 hasta el EI4 consecutivamente, este último, que aún se encuentra en desarrollo, establecerá los estándares para EE en niveles súper Premium (ver Figura 47). Por lo tanto, NEMA recomienda que los motores cumplan al menos con los parámetros establecidos en el estándar EI2 [21] (RCD\_M04).

**Figura 47.** Desempeño energético de la eficiencia de motores eléctricos. Fuente: [20].



Algunas de las ventajas de los motores de alta eficiencia se mencionan a continuación:

- Costos operativos más bajos, por consumos energéticos menores en relación a motores con desempeño estándar.
- Menor deslizamiento, ocasionando mayor velocidad de operación, que en algunos casos, puede ayudar a la ventilación.
- Mayor robustez, generando menores costos de mantenimiento y mejores estándares de construcción en relación a los motores tradicionales [13].

Algunas de las limitaciones de los motores de alta eficiencia son:

- La corriente de arranque, que suele ser mayor que la de otros motores tradicionales, lo que puede provocar una caída de los niveles de voltaje en la red eléctrica.
- Incremento de la carga, a causa del aumento de la velocidad con que trabajan en situaciones como arranque de bombas, ventiladores, etc.
- Menor factor de potencia que el de un motor tradicional, en el intervalo de 15-40 HP.

- Mayor momento de arranque y de momento máximo de acuerdo al fabricante, por lo que se debe analizar para cada aplicación.

A pesar de lo eso, los motores de alta eficiencia tienen mayores ventajas frente a los motores estándares, ya que a mayor eficiencia mejor desempeño y mayores beneficios en pro del aumento de la productividad en la industrial y reducción de costos de operación; aunque tienen un costo de adquisición mucho mayor, se debe estudiar previamente el retorno de la inversión, en términos del ahorro de energía y gastos de mantenimiento. Se recomienda la adquisición si se planea utilizarlos al menos 2 - 3 años, periodo aceptable para la recuperación de la inversión. Se puede obtener una ecuación de referencia para el análisis costo-beneficio en un periodo de un año (ver Ecuación 5) [16] (RCG\_M04).

**Ecuación 5.** Ahorro de energía anual en motores de alta eficiencia.

$$S = 0,746 \cdot HP \cdot L \cdot C \cdot T \cdot \left( \frac{100}{EF_A} - \frac{100}{EF_B} \right)$$

Dónde:

- S: ahorro en pesos por año.
- Hp: potencia de motor.
- L: porcentaje de carga respecto al nominal.
- C: costo de energía en pesos por KWH.
- T: tiempo de funcionamiento en horas al año.
- EF<sub>A</sub>: eficiencia del motor estándar.
- EF<sub>B</sub>: eficiencia del motor de alta eficiencia.

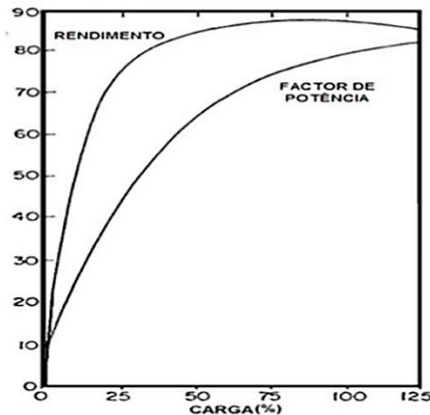
De acuerdo a la anterior ecuación se recomienda instalar motores de alta eficiencia en las siguientes condiciones de trabajo:

- Motores entre 10 y 75 HP con tiempos de trabajo anual superiores a 2500 horas [25]
- Motores de potencia menor a 10 HP mayor a 75 HP con tiempos de trabajo anual superiores a 4500 [25]

### 5.3.2.2. Identificación y selección del motor adecuado

Deben estar enfocadas en cumplir con los requisitos necesarios para un óptimo funcionamiento dentro de la aplicación mecánica a emplear. Es necesario considerar factores como: precio, aislamiento térmico, torque, frecuencia, potencia, eficiencia, consumos, tensión a trabajar, curva de carga y de par-velocidad, etc. El motor debe ser seleccionado teniendo en cuenta un dimensionamiento del valor de potencia nominal entre 5% a 15% sobre la potencia de operación del motor, para valores por encima del 25% se producirán pérdidas causadas por el aumento del consumo de potencias reactivas y disminución del factor de potencia del motor (ver Figura 48) [20] [5] (RCG\_M05).

**Figura 48.** Efectos del sobredimensionamiento en potencia para motores eléctricos. Fuente: [20].



Una vez se ha seleccionado la aplicación mecánica en la que se va a emplear el motor, por ejemplo: bombas, ventiladores, en sistemas de refrigeración, cierras, molinos, sistemas de transmisión mecánica, entre otros, se deben tener en cuenta los factores que pueden afectar su correcto funcionamiento y los desarrollos tecnológicos con los que se logran reducir consumos energéticos, como una opción para aumentar la EE dentro de las organizaciones (RCG\_M05).

Debido a la importancia de tener el motor adecuado para el trabajo determinado, se presentaron las secciones anteriores primero y se cierra con esta sección, así, se llega a tener una información adecuada para saber cuál es el mejor motor para las necesidades particulares de la industria, ya sea un motor eléctrico tradicional o uno de alta EE.

### 5.3.2.3. Banco de reglas/recomendaciones

En esta sección se encuentran las recomendaciones para la parte Motores eléctricos (sección 5.3.2). La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- RCG: Recomendaciones Generales para el MEAEEI.
- M: Motores eléctricos.

**Tabla 11.** Guía de recomendaciones para motores eléctricos. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCD_M01	Actualizar motores convencionales, sus componentes y/o dispositivos, disminuye el consumo de la energía, hay muchas tecnologías disponibles acordes a las necesidades de la empresa. [El porcentaje de ahorro depende de cambios específicos aplicados].
RCD_M02	Utilizar el motor para la frecuencia de trabajo que fue diseñado dentro del rango de fluctuación de frecuencia permitido, en caso contrario considerar las pérdidas y perjuicios que puede conllevar. [Fluctuación de frecuencia $\pm 1\%$ ].

RCD_M03	Reemplazar motores eléctricos de inducción antiguos, por motores de alta eficiencia bajo las recomendaciones establecidas, mejora el desempeño energético de la empresa. [95% de costos generales de motores eléctricos está asociado a su consumo energético].
RCD_M04	Considerar requisitos establecidos por las normas NEMA o sus equivalentes europeos, para cumplir con condiciones mínimas de desempeño en motores de alta eficiencia. [La eficiencia se puede incrementar un 20% para motores de baja potencia (dentro del rango establecido) con tecnologías tradicionales].
RCD_M05	Instalar arrancadores suaves para motores de más de 10 HP.
RCG_M01	Considerar potencia, tensión, frecuencia, factor de potencia y eficiencia como algunos de los datos más relevantes al trabajar con motores.
RCG_M02	Mejorar la calidad de potencia eléctrica de entrada en motores para mejorar su EE.
RCG_M03	Comprar motores de alta eficiencia no genera grandes costos adicionales, en comparación con los costos del consumo energético de motores tradicionales, bajos las recomendaciones establecidas. [Alrededor del 1% de los costos generales en un periodo de 10 años].
RCG_M04	Emplear motores de alta eficiencia para utilización de más de 3 años. [Ecuación de Ahorro de Energía Anual M.A.E.]
RCG_M05	Seleccionar el motor teniendo en cuenta un dimensionamiento del valor de potencia nominal entre el 5% y el 15% sobre su potencia de operación.
RCG_M05	Utilizar el motor adecuado para cada aplicación específica, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, sugerencias tecnológicas y el lugar o contexto en donde va a ser instalado.

### 5.3.3. Sugerencias tecnológicas para EE

Para equipos con cargas variables, las necesidades de potencia disminuyen conforme decrece la carga. Para hacer eficientes estos mecanismos, se utilizan controles de velocidad para motores eléctricos, que proporcionan solo la energía necesaria para mover la carga, pudiendo alcanzar la máxima EE. Aunque son muchas las tecnologías que se utilizan, dos comunes son:

- Variadores electrónicos de velocidad.
- Troceadores de tensión.

En respuesta al efecto que produce el arranque de motores en el sistema eléctrico y en especial, el alto consumo representado por el aumento de la corriente de arranque, se han desarrollado gran variedad de alternativas tecnológicas, ejemplo:

- Dispositivo INSWITCH y arrancadores suaves.
- Reducción de pérdidas ocasionadas por transmisión mecánica.

#### 5.3.3.1. Variadores electrónicos de velocidad

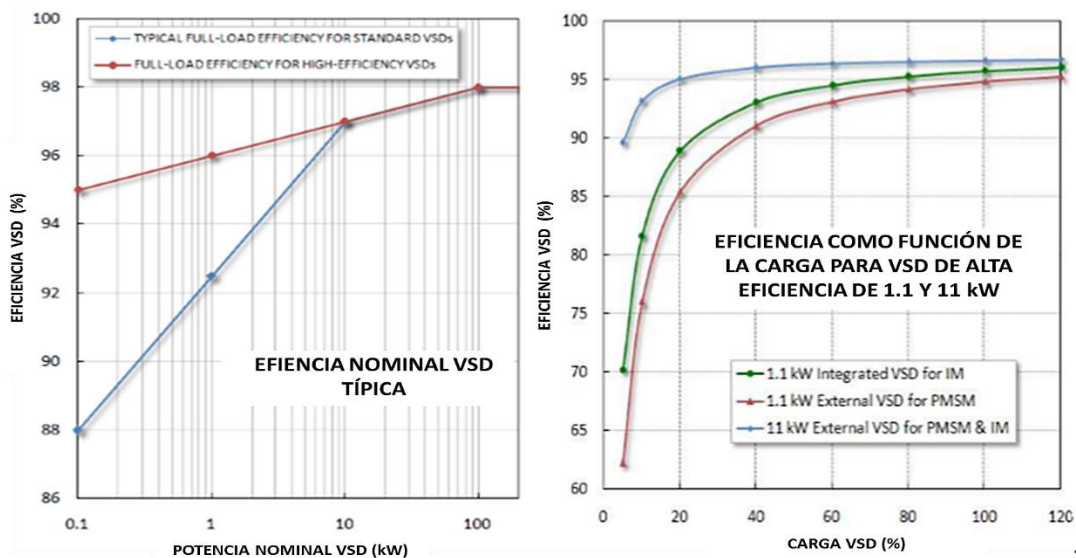
Permiten que los motores trabajen cerca del punto óptimo de funcionamiento, a partir de la variación electrónica del voltaje y de la frecuencia entregada al motor, manteniendo el torque constante (cerca de la velocidad nominal).

Pueden ser adaptados a sistemas accionados por motores con carga fija o variable, en este último caso, se obtienen mejores resultados en la reducción del consumo energético, puesto que el torque varía de forma cuadrática en relación con la velocidad, por lo tanto, a bajas velocidades se obtiene un torque bajo, lo que implica un menor consumo energético, mientras que para altas velocidades se tendrá un consumo muy cerca al nominal.

Teniendo en cuenta que gran parte de los equipos trabajan por debajo de la capacidad nominal la mayoría del tiempo, los variadores resultan ser una alternativa viable, ofrece distintas velocidades de trabajo, optimizando el consumo energético [6].

Para evaluar posibles ahorros en consumo energético con la instalación de un variador electrónico se recomienda su instalación para cargas entre 10 y 60 kW (ver Figura 49) (RCD\_TEC01).

**Figura 49.** Efecto de variadores de velocidad en la eficiencia energética de los motores eléctricos. Fuente: [20].



### 5.3.3.2. Troceadores de tensión

Es recomendable instalar este tipo de equipos en situaciones donde se produzca un cambio brusco en la carga del motor, es decir, que el motor parta de una carga de vacío hasta una carga total.

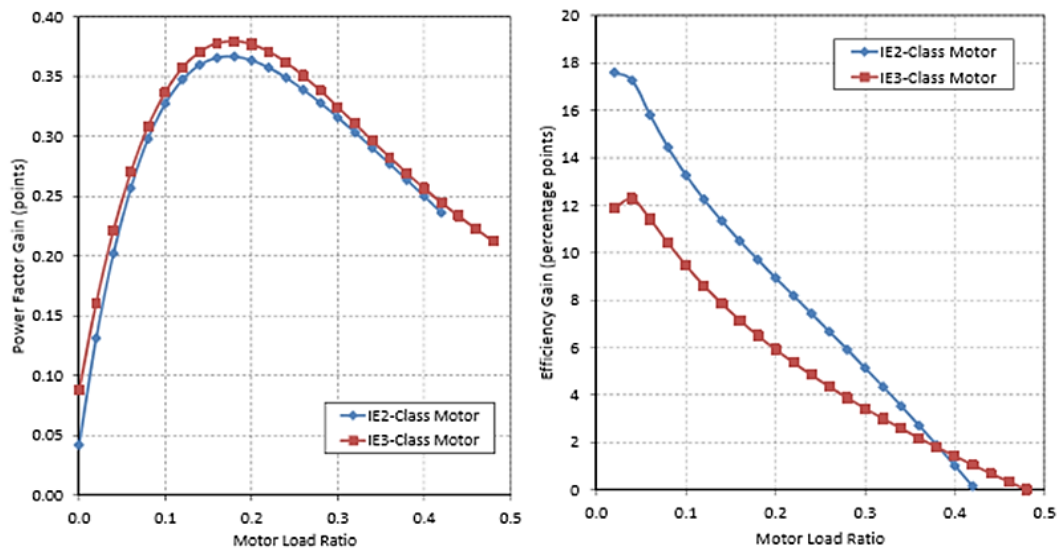
Su funcionamiento consiste en trocear la onda disminuyendo el voltaje aplicado al motor, proporcionalmente va disminuyendo la carga, generalmente, la variación oscila entre un 60% al 100% de la tensión, de tal manera que se pueda mantener un factor de potencia constante. Los mejores resultados se obtienen cuando la mayor parte del tiempo la carga es leve o está en vacío [4] (RCD\_TEC02).

### 5.3.3.3. INSWITCH

Dispositivo electrónico que permite un arranque suave para motores de baja tensión comprendidos entre 4 – 37 kW, reduciendo su consumo energético, diagnosticando fallas y protegiendo el motor contra pérdidas de fase, desequilibrio de corriente y de voltaje, parada del rotor, sobrecorriente, sobrecarga, inversión de fase y voltaje mínimo.

Este dispositivo sustituye al tradicional arrancador estrella-triángulo y al arrancador electrónico suave (*soft-starters*), permitiendo ahorros estimados entre un 15% al 20%, para condiciones de cargas inferiores al 40% (ver Figura 50) (RCD\_TEC03).

**Figura 50.** Eficiencia energética en motores de alta eficiencia con *INSWITCH*, para el factor de potencia y la ganancia de EE. Fuente: [10].



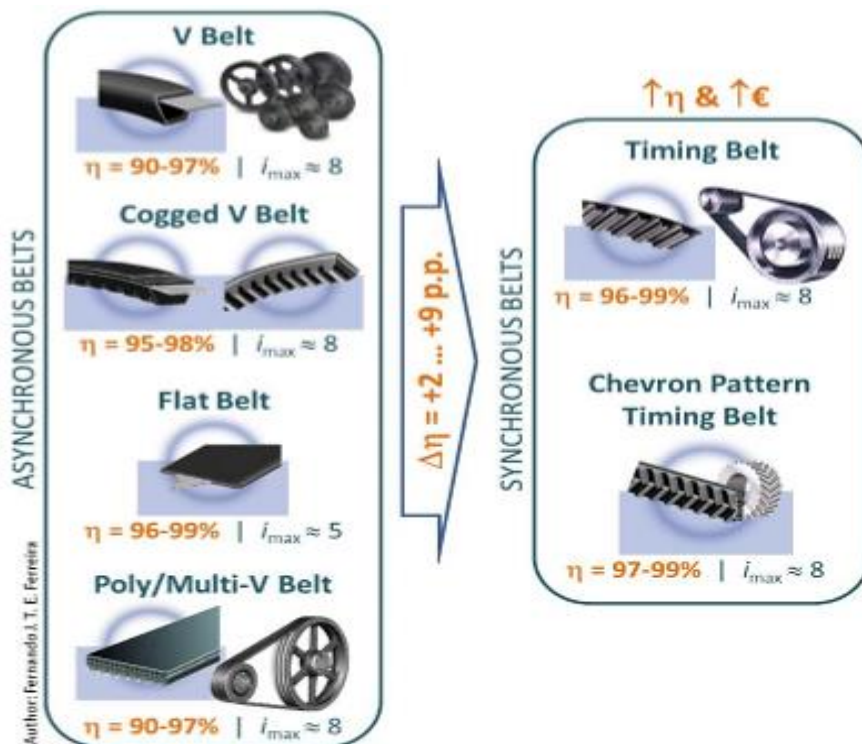
### 5.3.3.4. Reducción de pérdidas por transmisión mecánica

Para mantener unos indicadores altos de EE, se deben estudiar los mecanismos de transferencia de potencia eléctrica del motor, para ello se debe hacer una perfecta alineación del mecanismo con el motor, en este caso, se sugieren técnicas laser para asegurar una correcta instalación (RCG\_TEC01).

Existe gran diversidad de mecanismos que se pueden adaptar al motor, entre ellos se destacan: transmisiones flexibles como correas, bandas y cadenas, engranajes dentados cónicos helicoidales, paralelos y colineales, o la opción de acople directo, entre otros. Seleccionar el tipo adecuado depende de la aplicación mecánica en la que se va a emplear, debido al diseño y los materiales de construcción, factores que limitan su desempeño, según las especificaciones que cada fabricante provee, lo que representa una reducción de pérdidas mecánicas, diferentes en cada caso y dependiendo del uso. A continuación se mencionan algunos de estos elementos (ver Figura 51) (RCD\_TEC04):

- **Correas:** son las más utilizadas en la industria, cerca del 33%, destacándose las ventajas que ofrecen las correas en V, al no tener contacto directo con la superficie de la polea, el contacto se ejerce sobre las paredes laterales. Son flexibles, en cuanto al posicionamiento y en relación a la carga [10].
- **Cadenas:** recomendadas para aplicaciones de baja velocidad y torque alto. Soportan altas temperaturas, no patinan en condiciones de buena lubricación y mantenimiento. En transmisión de potencia, su eficiencia está en un 96-98%.
- **Engranajes o accionamientos:** ofrece la ventaja de tener mayor tiempo de vida en sistemas reductores como los colineales, paralelos y cónicos helicoidales, cuyos componentes ofrecen condiciones de calidad en rodamientos y engranajes, determinados por la Norma B10 para tiempos de vida entre las 50.000 y 100.000 horas de trabajo. La eficiencia para estos sistemas, para una reducción es del 99% y para doble reducción del 98%.

**Figura 51.** Eficiencia en la transmisión de potencia de las correas. Fuente: [10].



### 5.3.3.5. Banco de reglas/recomendaciones

En esta sección se encuentran las recomendaciones para la parte Sugerencias tecnológicas para EE (sección 5.3.3). La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- RCG: Recomendaciones Generales para el MEAEEI.
- TEC: Sugerencias tecnológicas.

**Tabla 12.** Guía de recomendaciones para sugerencias tecnológicas para eficiencia energética. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCD_TEC01	Utilizar variadores de frecuencia (o variadores de velocidad), en equipos que no trabajan en el punto óptimo de funcionamiento, especialmente los que tienen motores con cargas y/o velocidades variables. [En cargas entre 10 – 60 kW].
RCD_TEC02	Utilizar troceadores de tensión para equipos con cargas variables, es decir que el motor parta de una carga de vacío hasta una carga total, para mantener un factor de potencia casi constante. Preferiblemente cuando predominen condiciones de carga muy leve del motor [Variación entre un 60% al 100% de la tensión].
RCD_TEC03	Si los motores tienen arrancadores convencionales, cambiarlos por dispositivos <i>InSwitch</i> , para mejorar el consumo por corrientes de arranque. [Ahorros estimados entre 15% - 20%].
RCD_TEC04	Se deben aplicar procedimientos de calibración y/o cambios en elementos de transmisión mecánica que no cumplen con lo establecido por los fabricantes o reglamentos de transmisión, por ejemplo, en bandas o sistemas de engranaje que están con poca tensión (flojas), ya que pueden afectar la calidad del producto fabricado.
RCD_TEC05	Instalar sistemas de calefacción con aislamiento térmico, para limitar pérdidas por transferencia de calor en máquinas y equipos de los procesos.
RCG_TEC01	Estudiar los mecanismos por medio de los cuales se transfiere la potencia eléctrica del motor a la aplicación en que se encuentra.

#### 5.4. GUÍA PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y CALIDAD ENERGÉTICA

Se presentan directrices encaminadas a mejorar las instalaciones eléctricas de la empresa y la calidad de la energía utilizada en la industria. El tema eléctrico es bastante amplio y complejo, abarcarlo en su totalidad requiere de grandes esfuerzos y recursos, por ello se presenta un brochazo en dos componentes principales, así:

- Potencia eléctrica: presenta condiciones necesarias para el funcionamiento de los equipos eléctricos, enfocándose en: bajos niveles de tensión, desbalance de tensiones y distorsión armónica.
- Instalaciones eléctricas: factores que afectan directamente la EE de las instalaciones, debido a problemas que ocasionan conexiones de mala calidad o que no cumplen reglamentos, etc. Se enfoca en: cálculo del diámetro de conductores, protección de circuitos, esquema de conexión a tierra y factor de potencia.

Las recomendaciones propuestas en esta sección se presentan a continuación:

- Recomendaciones antes de la aplicación: sugerencias para antes de la implementación de un sistema de gestión de la energía, especialmente del MEAEEI.



- Recomendaciones durante/después de la aplicación: sugerencias que se deben hacer mientras se implementa el MEAEEI o después de la aplicación del MEAEEI, con el fin de tener acciones que generen EE.
- Recomendaciones generales: sugerencias que se dan para apoyar las recomendaciones anteriores, encaminadas a complementar la EE, es decir, generar eficiencia en procesos, prácticas, hábitos, etc.

#### **5.4.1. Instalaciones eléctricas**

La norma IEC 60364 “Instalaciones eléctricas en edificios”, especifica las condiciones a garantizar para mantener la seguridad en todo tipo de instalaciones eléctricas [12]. En Colombia, MinMinas estipuló en el RETIE, todas aquellas condiciones y requerimientos de funcionamiento y seguridad, para las instalaciones eléctricas que se realicen dentro del territorio nacional [22] (RCG\_INS01).

A continuación se presenta un aporte inicial, centrado en generar acciones que mejoren las instalaciones eléctricas de las empresas, ya que en el RETIE se establece todo lo relacionado con este tema, por lo que es obligatorio conocer, aplicar y cumplir con este reglamento, más aún cuando las organizaciones están interesadas en generar EE, en obtener certificaciones, etc., así:

- Cálculo del diámetro de conductores.
- Protección de circuitos.
- Esquema de conexión a tierra.
- Factor de potencia.
- Mejoramiento del factor de potencia.

##### **5.4.1.1. Cálculo del diámetro de conductores**

Estrechamente relacionado con las pérdidas ocasionadas por calentamiento del conductor, muchas veces debido a un mal diseño. Estas pérdidas suelen ser descritas por medio del efecto de Joule, donde son función del cuadrado de la corriente que circula por el conductor, de acuerdo a la resistencia del mismo. La reducción de un 10% de la corriente total del conductor reduciría un 20% las pérdidas. Para el cálculo del diámetro de los conductores, según las normas mencionadas anteriormente, se debe tener en cuenta principalmente (RCD\_INS01):

1. Intensidad de corriente (dada en amperios).
2. Caída de tensión aceptable entre fuente y carga.
3. Longitud del conductor (dada en metros).
4. Clase de conductor.

También es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Resistencia del conductor, que varía en proporción directa con su longitud.

2. Resistencia del material del conductor, que varía inversamente con su sección y se multiplica por una constante relacionada con las características del material.
3. Consideración de factores de corrección, referentes a distintas condiciones ambientales que se pueden presentar.
4. Cumplir con el código de colores, ya que este código está estipulado para las instalaciones eléctricas por cuestiones de diseño y de fácil identificación [22].
5. Pruebas para detección de fallos, por ejemplo, pruebas de resistencia de aislamiento para detectar el estado de los conductores, pruebas de termografía para evaluar las temperaturas de funcionamiento, etc.

#### 5.4.1.2. Protección de circuitos

Estos sistemas y el cableado, deben garantizar el soporte de la corriente a plena carga y sobre intensidades de corta duración, que puedan provocar daños a sistemas eléctricos/electrónicos, que generan gastos por reparación o compra de equipos, disminuyendo la productividad y eficiencia del proceso (RCD\_INS02).

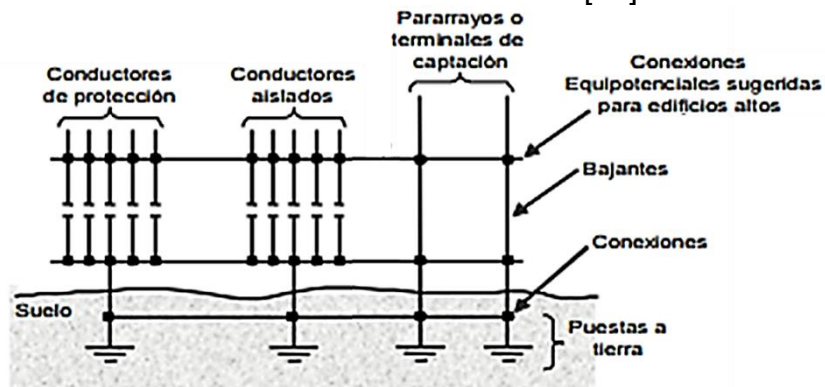
#### 5.4.1.3. Esquema de conexión a tierra

El RETIE, establece que todas las instalaciones eléctricas deben tener un SPT, para prevenir electrocuciones por contactos con partes metálicas energizadas accidentalmente, la falta de un SPT en la industria, puede llegar a provocar fallas permanentes en equipos, debido a sobretensiones temporales [22] (RCD\_INS03). A continuación se presentan algunas funciones del SPT:

1. Disipar las corrientes electrostáticas de falla y las ocasionadas por fenómenos naturales, como rayos.
2. Servir de referencia común para el sistema eléctrico.
3. Permitir a los equipos de protección despejar fallas.

Este esquema se considera como un conjunto de conexiones, encerramientos, canalización, cable y clavija, que se acoplan a un equipo eléctrico, dado por el RETIE (ver Figura 52).

**Figura 52.** STP dedicadas e interconectadas. Fuente: [22].



#### 5.4.1.4. Factor de potencia

El Factor de Potencia se define como la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA) que se obtiene de las líneas de alimentación [2]. Las máquinas eléctricas, como motores, transformadores, etc., presentan dos formas de consumo, la primera es la transformación de la potencia activa, incluyendo las pérdidas representadas por el efecto Joule y la segunda es la creación de campos magnéticos necesarios para su funcionamiento. Este factor está comprendido entre [0-1], cuando el valor es muy cercano a la unidad quiere decir que la energía reactiva es mucho menor que la energía activa, en este caso se presentan mayores beneficios.

La compensación hace referencia a la reducción del desfase entre las ondas de tensión y corriente producido por la corriente reactiva, mediante la implementación de condensadores de potencia, siendo representadas por ecuaciones matemáticas (ver Ecuación 6 hasta Ecuación 10) (RCD\_INS04).

**Ecuación 6.** Potencia aparente (kVA). Fuente: [2].

$$S = VI$$

**Ecuación 7.** Potencia efectiva o activa (kW). Fuente: [2].

$$P = VI \cos \varphi = VI_R$$

**Ecuación 8.** Potencia reactiva (kVAR). Fuente: [2].

$$Q = VI \sin \varphi = VI_R$$

Se debe diferenciar el factor de potencia (ver Ecuación 9) de la frecuencia fundamental de potencia (ver Ecuación 10), mientras la primera es la relación de la potencia efectiva y la potencia aparente, la segunda es la relación entre la frecuencia fundamental de la potencia activa (fundamental) y la frecuencia de la potencia relativa (fundamental), sin considerar la presencia de armónicos en la red serían equivalentes, mientras que si hay distorsión armónica, el PF dependerá además, de estas distorsiones.

**Ecuación 9.** Factor de potencia. Fuente: [24].

$$PF = \frac{P}{S}$$

**Ecuación 10.** Frecuencia fundamental de potencia. Fuente: [24].

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

#### 5.4.1.5. Mejoramiento del factor de potencia

La reducción de la energía reactiva genera ventajas económicas, por el mejoramiento del desempeño de los equipos y por evitar sanciones debidas al alto consumo de energía reactiva, penalizables por el operador de red. Estas sanciones dependen de la regulación de cada país, para Colombia, el artículo 25 de la Resolución 108 de 1997, determinó el control al factor de potencia en el servicio de energía eléctrica a los suscriptores o usuarios no residenciales y de los usuarios residenciales, conectados a un voltaje superior al Nivel de Tensión 1, el cual debería ser igual o superior a 0,9 inductivo. En caso de que la energía reactiva fuera mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) consumida por el usuario, el exceso sobre este límite se consideraría como consumo de energía activa, para efectos de determinar el consumo facturable [23] (RCG\_INS02). Las ventajas de mejorar el factor de potencia son las siguientes:

- Reducción de la caída de tensión, gracias a la disminución de la corriente reactiva a causa del efecto de los condensadores de potencia.
- Reducción de las pérdidas en los conductores.
- Mejoramiento de la calidad energética entregada por el transformador, debido a la disminución de las corrientes que circulan por este.

En el RETIE se resalta, que la disminución de energía reactiva de la red eléctrica, no deberá generar energía capacitiva que pueda ser absorbida por la red eléctrica. Cuando se desea compensar la energía reactiva de toda una instalación, es necesario instalar un banco de capacitores automáticos, justo después del embarrado del cuadro de distribución principal [22] (RCD\_INS04).

#### 5.4.1.6. Banco de reglas/recomendaciones

En esta sección se encuentran las recomendaciones para la parte Instalaciones eléctricas (sección 5.4.1). La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- RCA: Recomendaciones Antes de la aplicación del MEAEEI.
- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- RCG: Recomendaciones Generales para el MEAEEI.
- INS: Instalaciones eléctricas.

**Tabla 13.** Guía de recomendaciones para instalaciones eléctricas. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCA_INS01	Establecer acometidas independientes entre diferentes áreas de la empresa, a partir del tablero de distribución general hasta dicha área. Cada una de estas áreas debe tener su propio medidor del consumo energético, con el fin de diferenciar los consumos entre áreas, por ejemplo, el área de producción debe tener su propia acometida e instalaciones eléctricas, que salen desde el tablero de distribución, no se combinan con ninguna otra área y llega hasta el área destinada a producción.

RCD_INS01	Utilizar el mismo calibre en los conductores de toda la instalación eléctrica en un área específica o de acuerdo a los requerimientos de potencia de cada equipo, así se puede disminuir el consumo de energía y las pérdidas. [Reducciones del 10% de la corriente total del conductor mal dimensionado puede disminuir las pérdidas en un 20%].
RCD_INS02	Implementar sistemas de protección de circuitos para disminuir la probabilidad de daños, inactividad, reparación o compra de equipos y maquinaria industrial antes de lo presupuestado.
RCD_INS03	Implementar sistemas SPT según RETIE, ayuda a prevenir accidentes por contactos con partes metálicas energizadas (electrocuciones) y prevenir algunos fallos en equipos debido a sobretensiones temporales y sobrecargas.
RCD_INS04	Utilizar un banco de condensadores automático para compensar el desfase entre las ondas de tensión y corriente, y mejorar el factor de potencia, producido por la corriente reactiva de la red eléctrica. El banco de condensadores debe ubicarse al inicio de la instalación eléctrica y debe tener la capacidad correcta para dicha empresa.
RCD_INS05	Compensar cargas asociadas a resistencias monofásicas en el sistema de calefacción de máquinas, disminuyendo efectos del desbalance de tensiones.
RCG_INS01	Inspeccionar y mejorar las instalaciones eléctricas de la empresa según el RETIE, distribuyendo cargas,
RCG_INS02	Mejorar el factor de potencia evita sanciones, reduce la caída de tensión, las pérdidas en conductores y mejora la calidad de la energía eléctrica. [Factor de potencia $\approx 1$ ].

#### 5.4.2. Potencia eléctrica

Se deben garantizar las condiciones nominales para el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos, cuando la red eléctrica no cumple con estas condiciones, se presentan situaciones que afectan el tiempo de vida y el funcionamiento de los equipos, ocasionando problemas como sobrecalentamiento y aumento de pérdidas (RCG\_POT01). Algunos de estos fenómenos asociados a la calidad de la energía son los siguientes:

- Bajos niveles de tensión.
- Desbalance de tensiones.
- Distorsión armónica.

##### 5.4.2.1. Bajos niveles de tensión

Produce pérdidas en el funcionamiento del motor, debido a la pobre calidad de potencia suministrada. Los niveles bajos de tensión hace que el motor tome una corriente mayor para suplir el par que le exige la carga (RCG\_POT02). Los motores fabricados bajo estándares de la norma NEMA, funcionan con diferencias de tensión máximas del  $\pm 10\%$ . Según el criterio de la norma técnica colombiana NTC 1340, los rangos establecidos son del -10% mínimo y máximo el 5% para los rangos de tensión (RCD\_POT01). Las pérdidas fluctúan de acuerdo al porcentaje de tensión nominal, para una tensión del 90%, las pérdidas serán entre el 2% y el 4%.

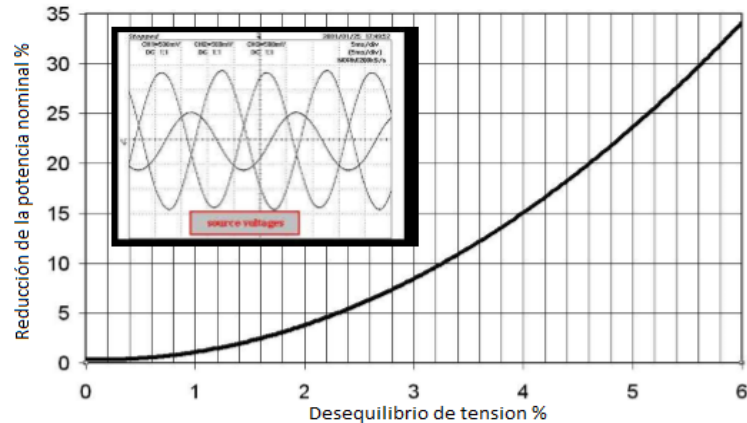
Algunas opciones para corregir bajos niveles de tensión son [1] (RCD\_POT02):

- Ajustes de *taps* de los transformadores.
- Instalación de cambiadores automáticos de *taps*, en caso de que las cargas del sistema varíen considerablemente en el transcurso del día.
- Instalar un banco de capacitores, para corregir el factor de potencia y así elevar el voltaje del sistema.

#### 5.4.2.2. Desbalance de tensiones

En redes eléctricas, se produce por perturbaciones dinámicas o estáticas, instalaciones eléctricas con cables de diferentes calibres, fallas en circuitos y debido a redes monofásicas, lo que ocasiona calentamiento y pérdidas en los motores [19]. Para la norma IEC60034-2, el desbalance por desequilibrio de tensión se define como “*la relación de la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva, medida a la frecuencia del sistema (50 Hz o 60 Hz)*” [15], aunque las normas NEMA MG1-2003 [18] e IEEE Std.141 [14] también hablan sobre el desbalance de tensión, la normatividad colombiana estableció al VUF, como factor de caracterización del desequilibrio de tensiones en un sistema trifásico, determinando que el desequilibrio de tensión no debe ser mayor al 2% y para mantener un 5% para la frecuencia nominal (ver Figura 53) (RCD\_POT03).

**Figura 53.** Efecto del desbalance de tensión en el motor. Fuente: [11].



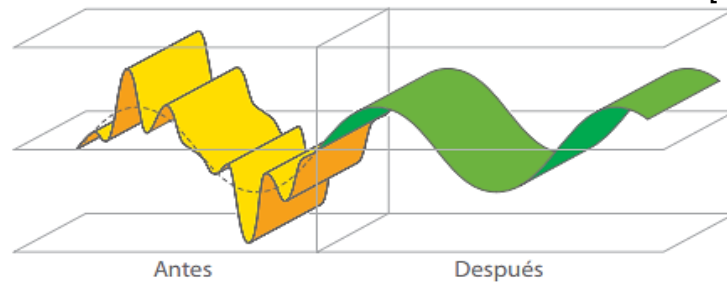
#### 5.4.2.3. Distorsión armónica

La presencia de armónicos en la red eléctrica ocasiona calentamiento y disminución del rendimiento del motor, reflejándose en su eficiencia y reducción de la vida útil, generalmente, se consideran los armónicos de múltiplos impares, para los casos de optimización completa se analizan hasta el número 25, aunque en caso de menor complejidad, resulta suficiente el análisis hasta el armónico número 13. La amplitud de los armónicos disminuye conforme aumenta la frecuencia, por lo tanto, en armónicos de números elevados como el 50, se consideran las medidas despreciables. Los armónicos se producen, entre otros, por la presencia de cargas no lineales (como VSDs, rectificadores, reguladores de voltaje, etc.), cargas con

núcleos saturados (como los transformadores), cargas de impedancia variable, etc. Para las cargas con núcleos saturados, se recomienda cambiar los *taps* del transformador de distribución. Algunas opciones para atenuar o eliminar los armónicos son (RCD\_POT04):

- Utilizar convertidores trifásicos de más de 6 pulsos.
- Instalar filtros resonantes y, filtros activos que determinan la componente fundamental e inyecta a la red la componente armónica en fase opuesta, de tal forma que los armónicos quedan cancelados (ver Figura 54).
- Utilizar reactancias de línea a la entrada de los convertidores.

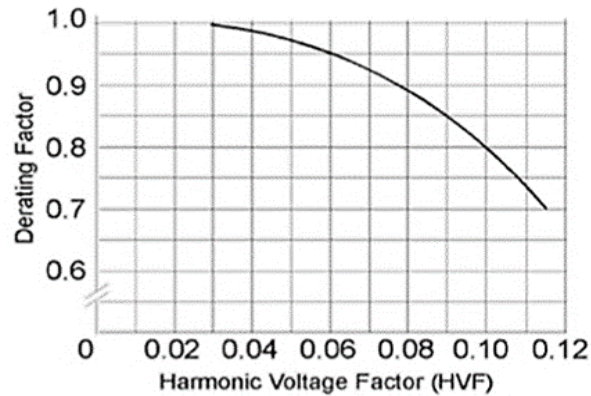
**Figura 54.** Efecto de un filtro activo en la forma de onda. Fuente: [24].



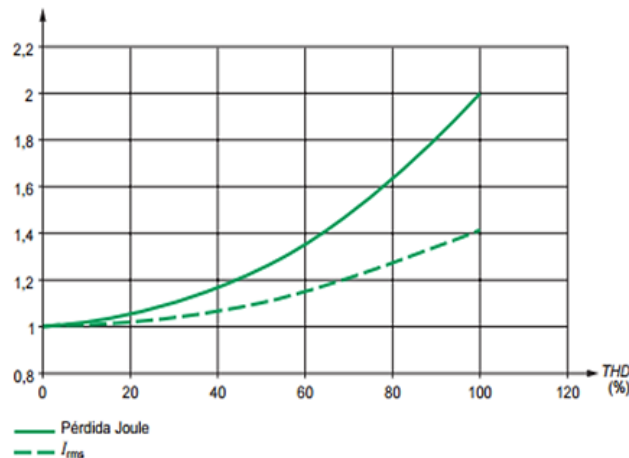
Los principales efectos de la presencia de armónicos en la red pueden ser: la reducción del factor de potencia, el aumento en la pérdida de las líneas de energía, de la corriente de neutro y en la pérdida de las máquinas eléctricas rotativas. Las pérdidas ocasionadas por los armónicos, se vuelven relativamente más altas para cargas bajas y las oscilaciones de torsión resultantes producen vibraciones adicionales, en particular a baja velocidad (RCG\_POT03).

La norma IEEE 519, señala las condiciones de calidad de energía y potencia eléctrica que deben proveer las empresas de servicios energéticos [9]. La norma NEMA MG-1 30.01.02 [18], plantea que cuando un motor trabaja en condiciones nominales y la tensión aplicada tiene componentes armónicos, la potencia nominal del motor debe ser multiplicada por un factor de ajuste para reclasificar su potencia y evitar daños (ver Figura 55 y Figura 56) (RCG\_POT04).

**Figura 55.** Efecto de la distorsión armónica sobre la potencia nominal del motor. Fuente: [18].



**Figura 56.** Aumento en la corriente RMS y en las pérdidas de Joule como función THD4. Fuente: [8].



#### 5.4.2.4. Banco de reglas/recomendaciones

En esta sección se encuentran las recomendaciones para la parte Potencia eléctrica (sección 5.4.2). La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- RCG: Recomendaciones Generales para el MEAEEI.
- POT: Potencia eléctrica.

**Tabla 14.** Guía de recomendaciones para calidad energética. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCD_POT01	Trabajar los motores cumpliendo con la norma NTC 1340, para un funcionamiento adecuado en condiciones de fluctuaciones de tensión. [Rango de (-10%, +5%)]
RCD_POT02	Corregir bajos niveles de tensión mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustes de <i>taps</i> de los transformadores.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de cambiadores automáticos de <i>taps</i>.</li> <li>• Instalación de un banco de capacitores.</li> </ul> [Para tensión del 90% se tienen pérdidas entre 2% y 4%].
RCD_POT03	Garantizar que el desequilibrio de tensión no supere el 2%, según la investigación de [11], asegura que la potencia no disminuya del 95%, utilizando herramientas como banco de capacitores, conductores de las mismas características, distribución de cargas monofásicas, etc.
RCD_POT04	Utilizar convertidores trifásicos de más de 6 pulsos, filtros resonantes y activos, reactancias de línea, además dimensionar los transformadores, máquinas y cables considerando la presencia de corrientes no sinusoidales, para atenuar al máximo los armónicos y sus efectos.
RCG_POT01	Garantizar condiciones mínimas/nominales para el correcto funcionamiento de equipos eléctricos, previene problemas de calentamiento y de pérdidas.
RCG_POT02	Suministrar un nivel adecuado de tensión reduce el consumo de corriente y pérdidas.
RCG_POT03	Implementar tecnologías que disminuyan al máximo los armónicos de la red.
RCG_POT04	Realizar un monitoreo constante, mediante mediciones periódicas de la distorsión armónica presente en la red eléctrica de la industria, con el fin de determinar si hay que hacer alguna reclasificación de potencia de los motores, aplicando un factor de ajuste.

### 5.4.3. Sistemas de iluminación

La iluminación artificial es de vital importancia para el desarrollo de las actividades productivas de cualquier empresa del sector industria. Aunque los sistemas de iluminación suelen combinar fuentes de luz natural y artificial, en la mayoría de los casos la iluminación natural es mínima y de corto tiempo, por lo que se hace un uso constante de lámparas para la iluminación de los sitios y áreas de producción. Con la entrada al comercio de las lámparas leds, se tiene un gran ahorro de energía, eficiencia de la iluminación, aumento de la vida útil de lámparas, disminución de costos, etc.

Los cálculos para saber cuánto es el ahorro son sencillos de hacer, solo se necesita tener los datos de la lámpara, que se obtiene al comprar o simplemente preguntar a los fabricantes y los datos generales de la red eléctrica del lugar donde se desea hacer el cambio. En el anexo 2, Aplicación del MEAEEI al caso de estudio Empaques Plásticos de Occidente Ltda., se presentan estos datos.

#### 5.4.3.1. Banco de reglas/recomendaciones

Las recomendaciones para los sistemas de iluminación (sección 5.4.3), actualmente son los más prácticos de implementar, la disminución en el consumo eléctrico se ve casi de inmediato y los costos debido a cambios de lámparas no requieren tanta inversión como el caso de cambios en equipos. A continuación se presentan las recomendaciones (ver Tabla 15) y nomenclatura:

- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- ILU: Iluminarias.

**Tabla 15.** Guía de recomendaciones para sistemas de iluminación. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCD_ILU01	Hacer el cambio a lámparas led en toda la empresa, reemplazando toda clase de lámparas que generen mayores consumos energéticos. [Disminución de consumo hasta del 40%].
RCD_ILU02	Utilizar circuitos de protección para las lámparas leds, con el fin de evitar daños antes de lo establecido por el fabricante.

## 5.5. GUÍA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

Los procesos industriales, se definen como un conjunto de actividades encaminadas en la transformación de las características de la materia prima, su EE está relacionada con el estado de los equipos eléctricos, el desempeño energético y la forma en que se operan esos equipos, considerando el entorno laboral en que se desarrollan, por eso suele estar de la mano con hábitos y prácticas del personal involucrado. El aporte del conocimiento del personal experto acerca de la optimización de procesos, es fundamental, ya que esto implica una documentación detallada de la forma de operación de cada máquina y equipo utilizado en cada proceso, esta documentación debe estar cruzada con manuales y normas, que generalmente provee cada fabricante, donde estipula condiciones idóneas de funcionamiento, acorde al diseño de cada equipo.

Generalmente, en la industria se considera la eficiencia de un proceso como la relación entre la cantidad de producto terminado y la cantidad de recursos que se emplearon para dicha fabricación. Mediante los IE, se determina el comportamiento de los recursos energéticos utilizados en los procesos industriales, que generalmente son graficados para facilitar su estudio.

Para evaluar la eficiencia de los procesos, es necesario el acompañamiento de personal experto, especialistas en determinar cambios y consideraciones específicas, que la empresa tendrá en consideración para su aplicación en los procesos. Se hace necesaria la intervención de un experto, interno o externo, para el análisis de la información, validando, el levantamiento de la información y/o el proceso como tal. Para ello se destacan algunas consideraciones:

- Documentar los procesos, enmarcados en normas y manuales que provee cada fabricante.
- Monitorear IE propuestos, por medidores digitales o inteligentes, herramientas como el diagrama de dispersión de producción vs consumo energético, línea de base y línea de meta energéticas, etc.

Pocas empresas documentan sus procesos y menos aún, las que utilizan algún tipo de herramienta para realizar esa documentación. Al no haber una correcta documentación de los procesos, se corre el riesgo de que cada lote fabricado tenga diferencias significativas, de depender de una persona para realizar un lote

determinado con el fin de tenerlo con los requerimientos necesarios, que haya una utilización y funcionamiento inadecuada de los equipos industriales, que el operario no tenga la formación y/o conocimientos necesarios para realizar el proceso del cual está encargado, etc., que al final se traduce en desperdicio de recursos y aumento de costos, por nombrar los más significativos. Una correcta documentación facilita la realización de un diagnóstico de procesos, determinando así, el nivel de dificultad de los componentes del proceso, grado de automatización, generación y/o análisis de modelos, mantenimiento, mejoras del proceso y otros [7] [17].

Por ejemplo, al hacer el PFD y utilizar ISA-S88.01, se realiza el levantamiento de información de procesos, que se documenta, luego se hace un diagnóstico y se determinan unos requerimientos; realizar lo anterior es clave para comparar y verificar los procesos de una industria con otra y finalmente lograr mejorar los procesos industriales de la empresa, como ocurrió en el trabajo “Diseño de un proceso de obtención de alimento para peces a nivel industrial en el marco del Proyecto de Regalías ID VRI 3883 – SGR” [7].

### 5.5.1. Banco de reglas/recomendaciones

En esta sección se encuentran las recomendaciones para la parte de Procesos Industriales (sección 5.5). La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- RCG: Recomendaciones Generales para el MEAEEI.
- PR: Procesos industriales.

**Tabla 16.** Guía de recomendaciones para estado de equipos eléctricos. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCD_PR01	Optimizar las máquinas con tecnologías de automatización para optimizar los procesos manuales, generando un tiempo que puede ser utilizado por el operario en otras actividades.
RCD_PR02	Mantener los implementos utilizados en los procesos de producción en buen estado, ya que si están desgastados se pueden producir inconvenientes en la producción, tiempos perdidos y demoras en la corrección de las fallas.
RCD_PR03	Realizar pruebas de rendimiento con máquinas en capacidades similares, a determinar mejoras en tiempos de producción y aumento de rendimiento de EE
RCG_PR01	Adquirir una máquina de tal manera que se optimice el proceso y se eliminen tiempos muertos por cambio de productos/formatos, con el objetivo de solo producir el producto de mayor demanda durante la mayor parte del mes.
RCG_PR02	Diseñar líneas de producción de acuerdo al flujo de procesos, con el fin de optimizar la eficiencia del proceso e indirectamente la EE de la empresa. Esto también aumenta la producción, evita desgaste de trabajadores, etc.

### 5.6. GUÍA PARA HÁBITOS Y PRÁCTICAS INDUSTRIALES

En la industria, como en otros sectores, por ejemplo el residencial, existen una serie de hábitos y prácticas que inciden en la eficiencia de los procesos y por tanto, en su consumo energético. Para el caso de las industrias, el hábito o costumbre, hace

referencia a la forma en que se interpreta “el cómo se debe utilizar un equipo o realizar un proceso”, diferente al protocolo de utilización, manual, etc.

Es común que en la industria se tengan procesos ineficientes, por falta de implementación de mecanismos que permitan evaluarlos desde el punto de vista operativo de la maquinaria, mediante criterios técnicos o expertos en el tema, por lo tanto, se generan malas prácticas, que resultan en procesos ineficientes. Todos estos malos hábitos generan consumos adicionales, que afectan la rentabilidad de cada proceso.

La educación técnica en buenos hábitos y prácticas industriales, es la base para fomentar comportamientos sustentables en el uso y consumo de la energía, mejorando la EE sin grandes inversiones de capital, como pasaría con cambios tecnológicos. De ahí radica la importancia del compromiso de la alta gerencia en educar, a través de profesionales capacitados, al personal acerca de la forma de proceder u operar dentro de cada proceso y maquinaria, ya que determinar los ahorros potenciales de energía depende, de los hábitos que se desarrollen en cada industria. En general, identificar esos malos hábitos y prácticas es tarea de un experto, sea interno o externo a la organización, con el fin de superar barreras socioculturales, que han fomentado hábitos negativos, debido a la carencia de procesos documentados o mal interpretados. El estudio profundo de este tema, se deja para trabajos futuros, donde se evalué el impacto energético de estos.

A continuación se sugieren algunas estrategias para mitigar el impacto de malos hábitos y prácticas industriales:

- Documentar los procesos de la industria en particular, mediante normas, estándares o por un experto calificado en el tema, con el fin de romper la tradición oral, que en ocasiones transmite conocimientos inadecuados.
- Incluir información técnica de protocolos, manuales, normas, estándares, etc., referentes a la forma de realizar un proceso u operar una máquina.
- Determinar cuantitativamente el ahorro energético, generado por la implementación de buenos hábitos y prácticas industriales, a partir de la detección de los malos hábitos y prácticas iniciales.

Se puede iniciar tomando como base el eje anterior, Procesos Industriales, determinando el personal que está involucrado directamente con cada uno de los procesos; de esta forma se realiza un análisis de los Hábitos y Prácticas Industriales del personal de la empresa que está directamente involucrado. Las herramientas comunes, como medio de levantamiento de información, son encuestas y entrevistas, y se propone la utilización de la Guía H&P como referencia de buenos hábitos y prácticas industriales. La complejidad del eje está en la falta de normas, estándares o procedimientos para el levantamiento de esta información. También es necesario, la intervención de un experto, quien determine el estado de los hábitos y prácticas del personal y establezca criterios para mejorarlos.

### 5.6.1. Banco de reglas/recomendaciones

En esta sección se encuentran las recomendaciones para la parte de Hábitos y prácticas industriales (sección 5.6). La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- RCD: Recomendaciones Después de la aplicación del MEAEEI.
- RCG: Recomendaciones Generales para el MEAEEI.
- HPI: Hábitos y prácticas industriales.

**Tabla 17.** Guía de recomendaciones para hábitos y prácticas industriales. Fuente: propia, octubre de 2016.

RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
RCD_HPI01	Documentar la información resultante de entrevistas con personas u operarios que están directamente y constantemente involucrados en procesos de producción, ya que ellos tienen mucha información útil, fruto de la experiencia del tiempo de trabajo, esta información puede servir como insumo, análisis, estudio, etc., de los procesos, hábitos y prácticas de la industria.

## **2. ANEXO 2: APLICACIÓN DEL MEAEEI AL CASO DE ESTUDIO EMPAQUES PLÁSTICOS DE OCCIDENTE LTDA.**

La guía del documento de la monografía es una ayuda para la implementación del MEAEEI, sus pasos pueden ser mejorados e implementados con otras herramientas, reglamentos, normas, estándares, etc., que sean conocidos por la industria. Sin embargo, para obtener una certificación externa, se deben cumplir todos los procesos, procedimientos y acciones, presentados en NTC-ISO 50001.

Este modelo fue implementado en la empresa EPO Ltda., de Cali. Como se verá en las siguientes páginas, las industrias son muy complejas, por eso aplicar cualquier clase de estudio implica manejar una amplia variedad de variables.

### **2.1. REVISIÓN GENERAL DE LA EMPRESA**

Es la implementación del paso 1 de la guía para la implementación del MEAEEI. La información aquí presentada surge de visitas a la empresa para entrevistarse con la gerencia, personal involucrado directamente en los procesos, inspección de las instalaciones físicas, observación de los procesos, equipos y maquinaria, etc. La empresa consta de una planta de producción y un par de oficinas dentro de la planta. La información levantada es la siguiente:

- Personal involucrado: 9 personas, en la parte administrativa 3 personas, que trabajan turnos de 8 horas, mientras que en la parte de producción son varios turnos, el personal que se encuentra depende de las máquinas que estén funcionando, se tiene 1 operario por máquina, de esta forma se logra un funcionamiento de 24 horas diarias de trabajo continuo en la parte de producción de la empresa.
- Activos físicos: los activos físicos involucran máquinas, equipos de oficina y sistema de iluminación. Más adelante se presenta la información levantada.
- Producción: información de los productos, desde la materia prima que se necesita, hasta las características de las unidades fabricadas, que serán presentadas en las secciones siguientes.

#### **2.1.1. Activos físicos**

La planta de fabricación de EPO Ltda., consta de siete máquinas principales, en funcionamiento continuo (24 horas), que producen la totalidad de los lotes. Existen dos máquinas secundarias, cuyo funcionamiento depende de la producción de las máquinas principales y entran en operación dependiendo de la necesidad del momento. El consumo de energía del sistema de iluminación y de los equipos de oficina, en comparación con el consumo energético de las máquinas industriales, es mucho menor, por lo cual se enfoca gran parte del trabajo en procesos y equipos de producción.

### 2.1.1.1. Máquina 1 de Moldeo por Inyección del Plástico

Máquina china de marca San Shun, tiene 135 toneladas de cierre, es la más moderna y eficiente, tanto energéticamente como en la utilización de la materia prima. Su eficiencia radica en la utilización de un servomotor y un sistema automatizado para el control de la inyección de polímeros. Cuenta con un transformador elevador de voltaje de 20kVA y 220v/380v de nivel de tensión necesario para su funcionamiento (ver Figura 57).

**Figura 57.** Máquina de moldeo por inyección San Shun. Fuente: propia, Junio 2016.



### 2.1.1.2. Máquina 2 de Moldeo por Inyección del Plástico

Máquina china, marca San Shun, de 100 toneladas de cierre, cuenta con un sistema de bomba de caudal variable eficiente, pero de menor rendimiento que un servomotor. La bomba se utiliza en el sistema hidráulico para proporcionarle la fuerza necesaria para la apertura y cierre del molde; y el desplazamiento del carro. Tiene un sistema de control de inyección Porcheson moderno, que monitorea cada uno de los parámetros de los módulos que la componen (ver Figura 58).

**Figura 58.** Máquina de moldeo por inyección del plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.



### 2.1.1.3. Máquina grande de Moldeo por Soplado del Plástico

Máquina Chia Ming, del año 2000, de origen taiwanés; produce los lotes de las unidades de mayor tamaño, como envases para lácteos de más de 1 litro, guardianes para residuos hospitalarios, etc., debido a su capacidad de soplado de piezas de hasta 5 litros (ver Figura 59). Más compleja que las anteriores, de mayor tamaño y más componentes, por ejemplo, a diferencia de las otras, tiene dos motores, uno para mover el husillo del sistema extrusor y el otro es una bomba para el sistema hidráulico con el cual se realizan los movimientos verticales de apertura y cierre del molde, además de los movimientos del desplazamiento del carro que soporta el molde, pero ninguno de ellos es un servomotor, por lo que se necesita de optimizar el consumo de energía para volverla más eficiente energéticamente.

**Figura 59.** Máquina de moldeo por soplado del plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.



### 2.1.1.4. Máquina mediana de Moldeo por Soplado del Plástico

Máquina de moldeo por soplado de fabricación alemana, hecha por la empresa Bekum; produce lotes de unidades medianas y grandes debido a su capacidad de soplado que va hasta los 3 litros. Aunque es una máquina de gran calidad, también presenta alto consumo, ya que no cuenta con una tecnología de EE (ver Figura 60).



**Figura 60.** Máquina grande Bekum, de moldeo por soplado del plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.



Esta máquina aún no ha sido automatizada, su año de fabricación es 1986, cuenta con una tecnología antigua. la configuración de los movimientos del carro tiene una tarjeta amplificadora, que mediante resistencias variables permite configurar los parámetros de corriente y de voltaje establecidos por el fabricante (ver Figura 61). En cuanto a la variación de la velocidad del sistema extrusor, se hace mediante un variador de velocidad de acuerdo a las características de fluidez del material y tiempo de soplado. El principio de funcionamiento es idéntico al descrito en la máquina de soplado Chia Ming.

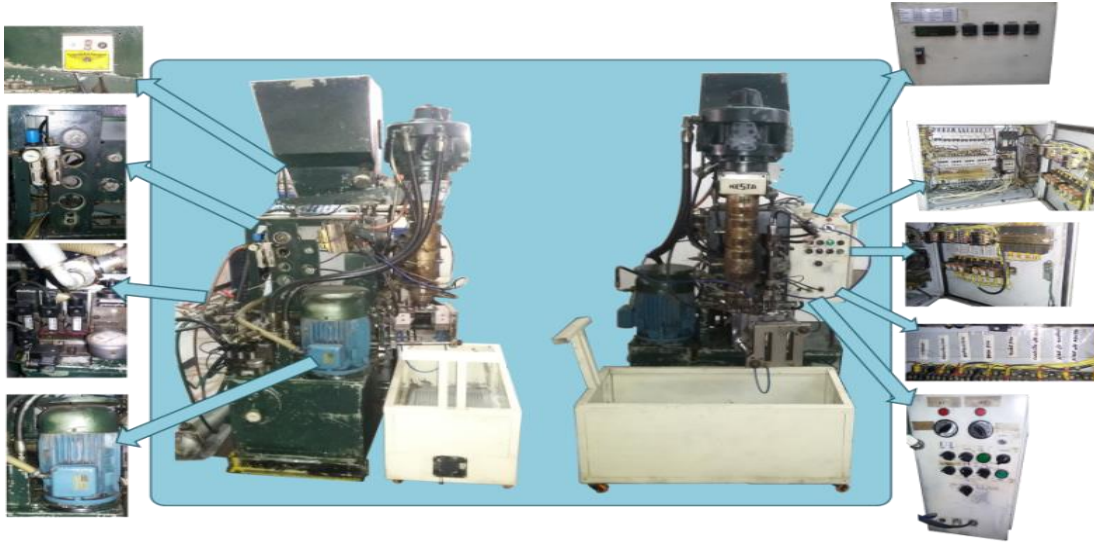
**Figura 61.** Gabinete de la sopladora Bekum. Fuente: propia, Junio de 2016.



### 2.1.1.5. Máquina pequeña de Moldeo por Soplado del Plástico

Máquina alemana antigua, marca Hesta. Automatizada para mejorar su producción. Tiene un motor tradicional de 10 HP, que hace la doble función de mover el husillo para el sistema extrusor y actuar como bomba para el sistema hidráulico con el cual realiza los movimientos de apertura y cierre de molde, y desplazamiento horizontal, gracias a su tamaño reducido (ver Figura 62).

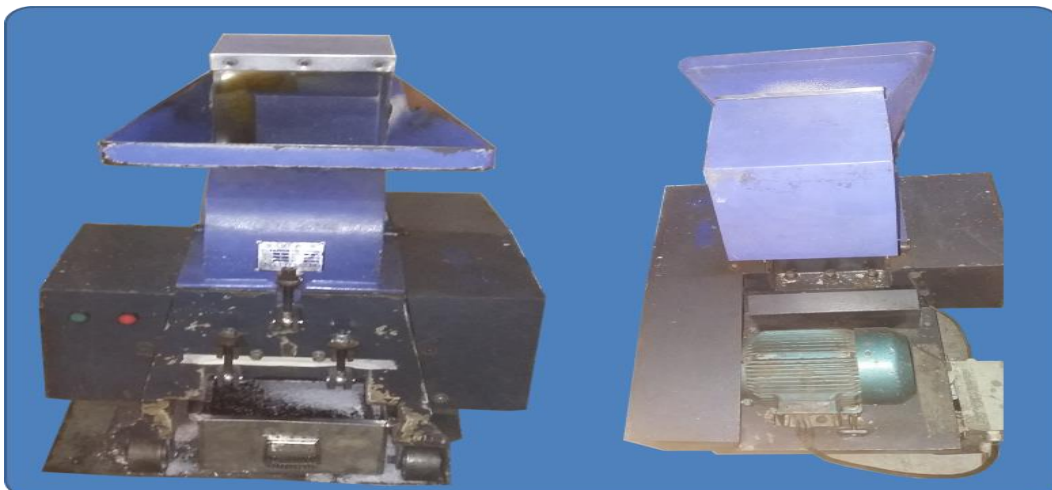
**Figura 62.** Máquina de moldeo por soplado de plástico. Fuente: propia, Junio de 2016.



### 2.1.1.6. Molino pequeño de Plásticos

El principio de funcionamiento similar al molino grande (ver sección 2.1.1.4), cuenta con un motor tradicional de 6,6 HP, ideal para triturar piezas de pequeñas, logrando reducir costos energéticos al seleccionar el equipo adecuado de acuerdo a la características del material recuperado (ver Figura 63).

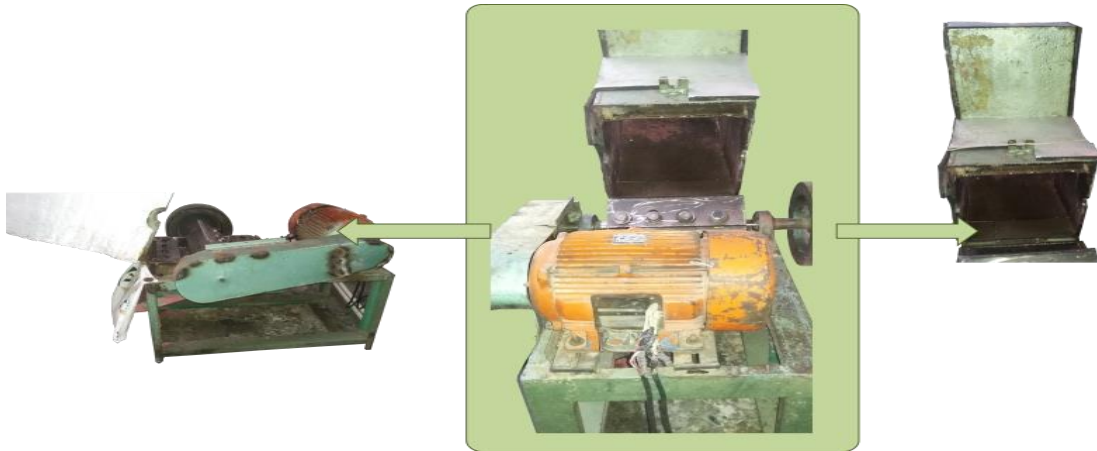
**Figura 63.** Molino de plásticos pequeño. Fuente: propia, Junio de 2016.



### 2.1.1.7. Molino grande de Plásticos

Utilizado para triturar productos defectuosos y rebabas grandes, tiene un motor de 24 HP, conectado mediante una correa de transmisión mecánica a un conjunto de cuchillas que trituran el material. No ha sido automatizado, tiene un interruptor de encendido apagado (ver Figura 64).

**Figura 64.** Molino de plástico grande. Fuente: propia, Junio de 2016.



### 2.1.1.8. Sistema de aire a presión

Compuesto por un compresor con motor de 7,5 HP y un tanque de almacenamiento de alta presión; se activa mediante una señal enviada por una válvula de presión, que inicia el proceso de llenado del tanque durante un tiempo de actividad, determinado por la presión en tanque y un tiempo de inactividad dependiente de los requerimientos de presión, necesarios para el funcionamiento de las máquinas sopladoras (ver Figura 65).

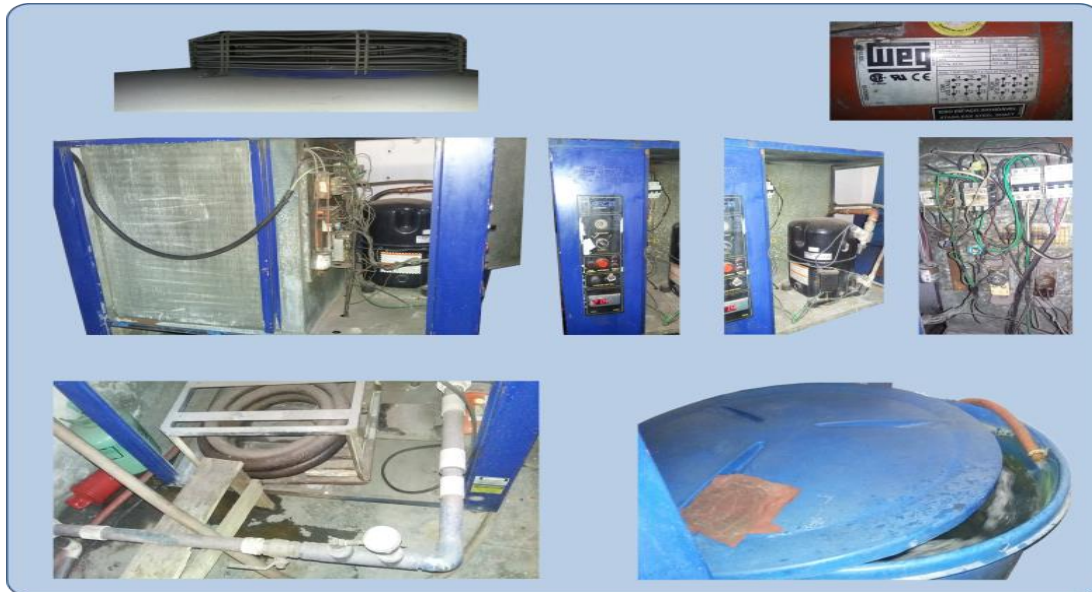
**Figura 65.** Compresor. Fuente: propia, Junio de 2016.



### 2.1.1.9. Sistema de enfriamiento de agua

Compuesto por un chiller, encargado de enfriar agua; tiene una bomba, una unidad eléctrica, un cilindro con gas refrigerante y un sistema de control. Se encarga de proveer agua fría a las máquinas, mediante un sistema de conexión de tuberías que llevan el agua hasta los moldes, enfriándolos, con el fin de impedir que se peguen a sus paredes y puedan ser expulsados mucho más rápido (ver Figura 66).

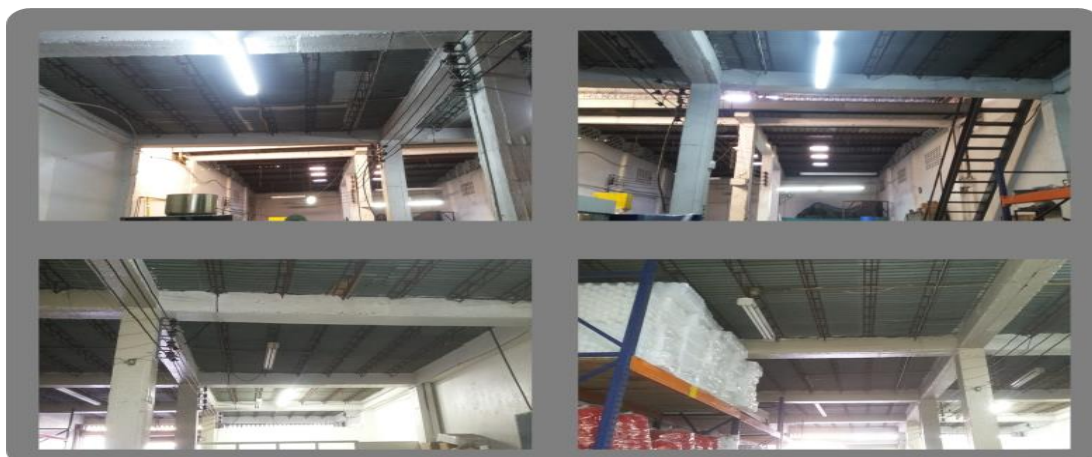
**Figura 66.** Chiller. Fuente: propia, junio de 2016.



### 2.1.1.10. Luminaria de la empresa

Compuesto por luces fluorescentes ahorradas, la luminaria de los procesos de extrusión soplado e inyección están encendidas continuamente las 24 horas, mientras que las lámparas de las dos oficinas están encendidas en un promedio de 10 horas (ver Figura 67).

**Figura 67.** Sistema de iluminación de EPO Ltda. Fuente: propia, junio de 2016.



### 2.1.1.11. Equipos de Oficina

Se utilizan en horarios de oficina, 8 horas diarias. El inventario es el siguiente:

- Computador de escritorio : 1.
- Computador portátil : 1.
- Impresora láser : 1.
- Balanza digital : 1.
- Teléfono inalámbrico : 1.
- Modem : 1.
- Regulador de voltaje : 1.

Debido a que solo hay un medidor para saber el consumo de la energía eléctrica en la empresa, no es posible saber el consumo exacto de los equipos de oficina, sin embargo se espera que sea mucho menor que el consumo de producción.

### 2.1.2. Producción

Está relacionada con unas condiciones de mercado variantes, que suelen impedir optimizar sus procesos, debido a lotes de producción que implican tiempos cortos de días o semanas máximo, por lo que el tiempo utilizado en el cambio de moldes para los diferentes productos representa un problema grave por los periodos de inactividad que pueden llevar, entre 3 a 4 horas o más dependiendo de cada molde.

Cada producto fabricado tiene su propia relación de producción diaria, su propio ciclo de producción relacionada con el tiempo que se demora en ser fabricado un producto y el número de cavidades con que cuenta cada molde, etc (ver Tabla 18), por eso es necesario realizar un registro de los productos que se fabrican en la empresa (ver Tabla 19) y las características de cada uno de ellos (ver Tabla 20). Teniendo en cuenta esas capacidades de producción y las condiciones que el mercado impone, se podría hablar de producción diaria, ya que un consolidado mensual resulta muy heterogéneo.

**Tabla 18.** Capacidad de producción de EPO Ltda. Fuente: propia, Junio de 2016.

Producto	Ciclo de Producción (Segundos)	Peso (Gramos)	Embalaje	Total por día
Envase 200ml (máquina Bekum)	11	14	1 paca x 200 unidades	7854 unidades 09,963 kg
Envase 200ml (máquina Hesta)	13	14	1 paca x 200 unidades	6646 unidades 93,04 kg
Envase 1 litro (máquina Bekum)	20	43	1 paca x 60 unidades	4320 unidades 185,76 kg
Envase 2 litros (máquina Chia Ming)	26	74	1 paca x 40 unidades	3323 unidades 245,907 kg
Tapa 38 (máquina San Shun)	13	3,7 unidad x 8 cavidades	1 bolsa x 1500 unidades	53169 unidades 196,726 kg
Recolector 3,3 litros (máquina Chia Ming)	60	220	1 paca x 30 unidades	1440 unidades 316,8 kg

### 2.1.2.1. Productos

Los productos que ofrece EPO Ltda., están enfocados a mercados industriales, el comercio en general y la economía informal. Dentro de ese catálogo de productos se destaca la línea de envases para productos lácteos y el conjunto de recipientes para residuos hospitalarios, que representan el mayor volumen de producción de la empresa (ver Tabla 19).

**Tabla 19.** Productos fabricados por EPO Ltda. Fuente: propia, julio de 2016.

EMPAQUES PLÁSTICOS				
Envase 200 ml 	Envase de medio litro 	Envase de 1l 	Envase de 1,8 l 	Envase de 2 l 
Envase para talco 	Envase para removedor 	Envase 1/32 galón 	Tapa 28 mm 	Tapa 38 mm 
Recolector de desechos hospitalarios 0,5 l 	Recolector de desechos hospitalarios 1,5 l 	Recolector de desechos hospitalarios 3 l 	Termos plásticos 	

Cada uno de los productos fabricados debe cumplir con las políticas de calidad establecidas por la empresa y los requerimientos de la demanda, por eso es importante mantener las mismas características en todos los lotes fabricados (ver Tabla 20).

**Tabla 20.** Características de productos. Fuente: propia, julio de 2016.

PRODUCTO	PESO (Gramos)	TIEMPO CICLOS (Segundos)	MATERIAL	MASTER
Envase 1L	43	20	PE Alta densidad soplado	-----
Envase 2L	74	26	PE Alta densidad soplado	-----
Envase 1800	76	29	PE Alta densidad soplado	-----
Envase Talco	54	19	PP Alta densidad soplado	Azul 22g
Envase Gel	19	13	PE Alta densidad soplado	-----
Envase de esencias	23	13	Alta densidad soplado	Amarillo 6g Blanco 3g
Envase pegante	250	14	PP Baja densidad soplado	Blanco 22g
Envase pegante	125	12	PP Baja densidad soplado	Blanco 22g
Envase pegante	40	12	PP Baja densidad soplado	Blanco 22g
Envase pegante	20	11	Baja densidad soplado	Blanco 22g
Recolector 3,3L	220	60	Peletizado rojo	Rojo 8g
Recolector 1,5L	120	41	Peletizado rojo	Rojo 8g
Recolector 0,6L	58	24	Peletizado rojo	Rojo 8g
Tapa recolector	44	18	P.P. Peletizado rojo	Rojo 8g
Tapa 38 mm	3,7	13	PP Alta inyección	Rojo 8g
Tapa pegante	1,5	16	PP Baja inyección	Verde 10g
Tapa recolector 0,6L	22	15	P.P. Peletizado rojo	Rojo 8g

### 2.1.2.2. Producción por máquina

La selección del equipo ideal para la producción está relacionada con la capacidad de inyección y soplado que cada máquina ofrece, dependiendo de esas características se elige cual es el equipo idóneo para producir un determinado producto. Cuando la capacidad de los equipos es similar, como es el caso de la sopladora Bekum y Chia Ming de 3 y 5 litros respectivamente, se recurre a hacer pruebas para determinar el ciclo de producción de las unidades fabricadas en las opciones disponibles, por ello es de vital importancia la relación producto-máquina en los procesos industriales (ver Tabla 21).

**Tabla 21.** Descripción de los productos realizados por cada máquina. Fuente: propia, julio de 2016.

	MÁQUINA	CARACTERÍSTICA	PRODUCTO
1	Máquina de Moldeo por Inyección del Plástico 1	Servomotor. EE alta.	Tapa de 38 mm para envases lácteos
2	Máquina de Moldeo por Soplado del Plástico Pequeña	Motor de caudal variable. EE media.	Envase pegante de 20, 40 y 125 ml Envase personal 220 ml Envase ampolleta
3	Máquina de Moldeo por Soplado del Plástico Grande	Motores tradicionales Baja EE	Recolector grande Recolector pequeño Envase lácteo 2 L Envase lácteo 1,8 L

4	Máquina de Moldeo por Soplado del Plástico Mediana	Motores tradicionales Baja EE	Envase lácteo 1 L Envase talco Envase silicona Recolector pequeño Envase gel Envase personal 220 ml Termo
5	Máquina de Moldeo por Inyección del Plástico 2	Motores tradicionales Baja EE	Tarro de tempera Tapa recolector grande Tapa recolector pequeña Tapón penicilina Tapa pegantes
6	Molino de Plásticos Grande	Motores tradicionales Baja EE	Material molido reciclado del proceso de producción
7	Molino de Plásticos Pequeño	Motores tradicionales Baja EE	Material molido reciclado del proceso de producción

### 2.1.2.3. Materiales

Entre los materiales utilizados en los procesos de soplado e inyección se destacan: polipropileno, polietileno y material reciclado de los procesos de producción. El material reciclado resulta de rebabas y productos defectuosos, que son molidos en un tamaño similar al del material peletizado, se verifica que este material no tenga agentes contaminantes y se reintegra al ciclo de producción (ver Tabla 22).

**Tabla 22.** Molienda de material recuperado en EPO Ltda. Fuente: propia, julio de 2016.

MATERIAL RECUPERADO DEL PROCESO INDUSTRIAL	MOLIDA DE MATERIAL	MATERIAL RECUPERADO
Envases para lácteos y rebabas de polietileno.	Polietileno triturado.	Polietileno recuperado sin contaminantes.
Tarros de temperas de polipropileno.	Polipropileno triturado.	Polipropileno recuperado sin contaminantes.
Tapas para envases de lácteos polipropileno.	Polipropileno triturado.	Polipropileno con pigmentos de color sin contaminantes.

Cada producto es único, por lo que se necesita mantener la calidad en cada uno de ellos. La selección del material adecuado para cada producto depende de factores como: la fluidez, la transparencia, la densidad, el color deseado, entre otros (ver Tabla 23).

**Tabla 23.** Materia prima utilizada en EPO Ltda. Fuente: propia, julio de 2016.

MATERIAL	DENSIDAD	PRODUCTO	PROCESO
Polietileno	Alta	Envases lácteos. Tapas envases lácteos. Guardianes residuos hospitalarios. Termos. Envases para talcos.	Extrusión soplado



		Envases línea cosmética.	
	Baja	Envases para pegantes.	Extrusión soplado
	Alta	----	Extrusión inyección
	Baja	Tapas envases para pegantes.	Extrusión inyección
Polipropileno	----	Termos.	Extrusión soplado
	----	Tarros temperas. Tapas envases lácteos.	Extrusión inyección

## 2.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Paso 2 de la guía para la implementación del MEAEEI, donde se hace el levantamiento de la información de la empresa EPO Ltda. Esta empresa fabrica una gran variedad de productos plásticos, por lo que realizar el análisis de cada producto resulta complejo, por ello se resume la producción en tres procesos principales: inyección, soplado y molienda, donde se encuentra lo siguiente:

- **MOLDEO POR INYECCIÓN:** tarros para temperas, tapas para envases lácteos, recolectores de desechos hospitalarios, envase de penicilina, envases para pegantes, etc.
- **MOLDEO POR SOPLADO:** termos deportivos, envases para pegantes, ampollitas, recolectores de desechos hospitalarios, envases para talcos, envases para gel, envases para lácteos, envases para silicona, etc.
- **MOLIENDA:** se toman las rebabas de los procesos de moldeo y productos defectuosos o que no hayan cumplido con las políticas de calidad establecidas por la empresa, este material es procesado por los molinos hasta obtener un material triturado de grano pequeño, parecido a los pellets de polímero, por eso el nombre de “peletizado reciclado” de polímeros, que luego se ingresa como material reciclado en las entradas de los procesos de moldeo por inyección y soplado, junto con la materia prima.

### 2.2.1. Procesos industriales

A partir de la clasificación de los tres procesos industriales principales de EPO Ltda., se obtienen los diagramas de flujo de proceso, los modelos de proceso y los modelos físicos, aplicando ISA-S88.01 para estos últimos.

#### 2.2.1.1. Modelado del proceso de inyección

En esta sección se realiza el modelado del proceso de inyección real de EPO Ltda., para obtener la información necesaria del PFD y luego el modelo de proceso, para ello es necesario visitar la planta física de la empresa, observar detalladamente el proceso en las respectivas máquinas y entrevistarse con los operarios y/o personal pertinente, así se obtiene la abstracción del flujo de materias primas o materiales, que será presentado en una tabla de fácil entendimiento, detallando la entrada y salida de las operaciones del proceso, que posteriormente darán como resultado un diagrama en donde se graficará esta información (ver Tabla 24).

**Tabla 24.** Tabla de bajo detalle del flujo de materiales del proceso de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.

ENTRADA	OPERACIONES	SALIDA	ETAPAS
Polímero peletizado	Recepción	Polímero peletizado	ALIMENTACIÓN
Polímero peletizado	Alimentación	Polímero peletizado	
Polímero peletizado	Extrusión	Polímero fundido caliente	INYECCIÓN
Polímero fundido caliente	Inyección	Material fundido caliente	
Material fundido caliente	Moldeo	Pieza moldeada caliente	
Pieza moldeada caliente	Expulsión	Empaque terminado	EMBALAJE
Empaque terminado	Acumulación	Empaque terminado	
Empaque terminado	Embalaje	Lotes de empaques terminados	

A partir de la Tabla 24, de flujo de materiales del proceso de moldeo por inyección, se obtiene un diagrama más general, diagrama de flujo por etapas, en donde se observa que el proceso de moldeo por inyección utiliza un polímero peletizado para producir los empaques plásticos (ver Figura 68).

**Figura 68.** Diagrama de flujo por etapas del proceso de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.

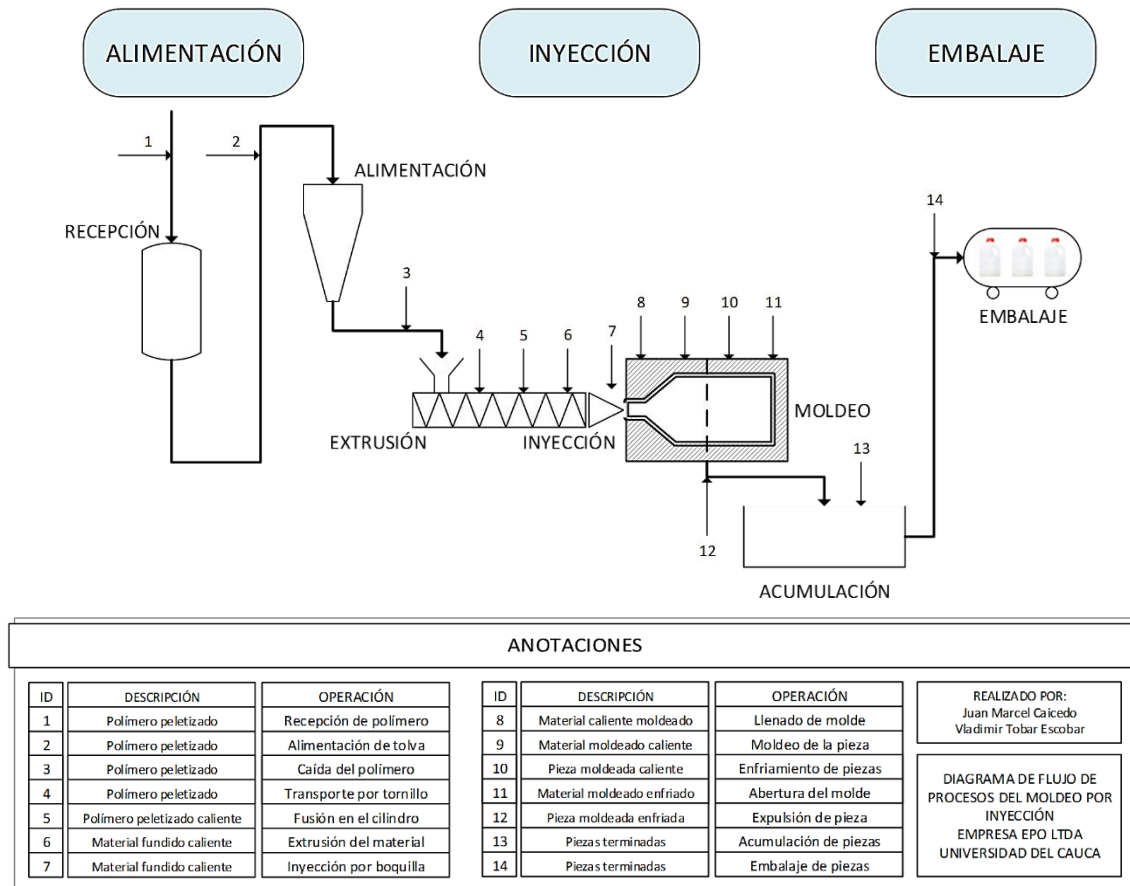


Una vez obtenidas las etapas y operaciones, se realiza el PFD o diagrama de flujo de procesos del moldeo por inyección, que consta de las etapas: alimentación, inyección y embalaje, las cuales se describen así:

- **ALIMENTACIÓN:** etapa inicial del proceso de moldeo por inyección, aquí se recibe la materia prima, se almacena, luego se escoge el material y cantidad necesaria para alimentar la tolva de la máquina inyectora, que empezará inmediatamente con el proceso de inyección como tal.
- **INYECCIÓN:** etapa que incluye las operaciones que convierte al polímero peletizado en un empaque plástico determinado. Se hace fusión del polímero, extrusión e inyección en los moldes, enfriamiento y expulsión, obteniéndose al final el empaque plástico requerido.

- **EMBALAJE:** una vez fabricado el empaque, entra en ejecución esta etapa, en la que se organizan los empaques en lotes de producción. Finalizando el proceso de moldeo por inyección (ver Figura 69).

**Figura 69.** Diagrama de flujo por operaciones del proceso de moldeo por inyección.  
Fuente: propia, agosto de 2016.



Utilizando ISA-S88.01, se obtiene el modelo de proceso del moldeo por inyección, que ayudará a tener una fácil comprensión del proceso y por ser un estándar reconocido a nivel industrial, se tiene una documentación normalizada. La información obtenida del PFD (ver Figura 69), es organizada de la siguiente manera [27]:

- **PROCESO:** se define como una secuencia de actividades químicas, físicas o biológicas para la transformación, transporte o almacenamiento de materias y energía. Se identificaron tres procesos: proceso de molienda, proceso de moldeo por soplado y proceso de moldeo por inyección (ver Tabla 25). En esta sección se toma únicamente el proceso de inyección y se hace el desarrollo de las demás partes del modelo, posteriormente se hace lo mismo con los dos procesos restantes.
- **ETAPAS DE PROCESO:** se define como una parte del proceso, que opera independientemente de otras, dentro del mismo proceso, por lo general,

ejecutan una secuencia planeada de cambios físicos o químicos en el material procesado. Para el proceso de inyección, se identificaron tres etapas de proceso: alimentación, inyección y embalaje.

- **OPERACIONES DE PROCESO:** se definen como las actividades necesarias para realizar una etapa de proceso, representando las actividades principales de la misma etapa. En este caso se determinaron ocho operaciones principales: recepción de polímero, alimentación de tolva, extrusión, inyección, moldeo, expulsión, acumulación de piezas y embalaje de empaques.
- **ACCIONES DE PROCESO:** se refiere a las actividades de procesamiento menor que se combinan para formar las operaciones de proceso. El proceso de inyección está compuesto de 32 acciones de proceso.

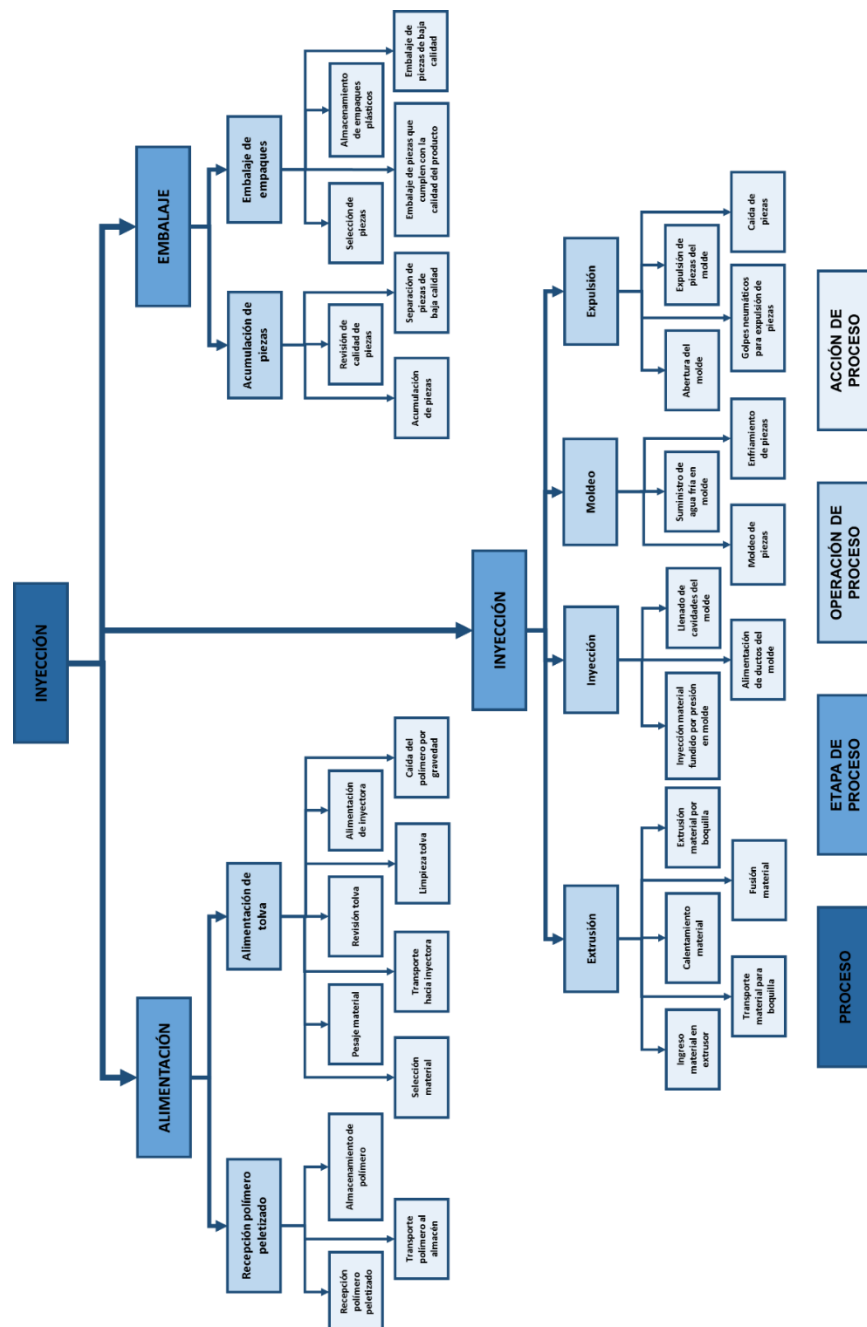
**Tabla 25.** Modelo de proceso del moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.

PROCESO	ETAPAS DE PROCESO	OPERACIONES DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO		
INYECCIÓN	ALIMENTACIÓN	Recepción de polímero	Recepción del polímero peletizado		
			Transporte del polímero al lugar de almacenamiento		
			Almacenamiento de polímeros		
		Alimentación de tolva		Selección del material	
				Pesaje del material	
				Transporte hacia la máquina de moldeo	
				Revisión de la tolva	
				Limpieza de la tolva	
				Alimentación de la máquina de moldeo	
				Caída del polímero por gravedad	
	INYECCIÓN	Extrusión		Ingreso del material en extrusor	
				Transporte del material hacia la boquilla	
				Calentamiento del material	
				Fusión del material en el cilindro	
				Extrusión del material fundido por la boquilla	
		Inyección		Inyección del material fundido por presión en molde	
				Alimentación de los ductos del molde	
				Llenado de las cavidades del molde	
		Moldeo		Moldeo de las piezas	
				Suministro de agua fría para molde	
				Enfriamiento de las piezas	
		Expulsión		Abertura del molde	
				Golpes neumáticos para expulsión de la pieza	
				Expulsión de la pieza del molde	
				Caída de las piezas	
		EMBALAJE	Acumulación de piezas		Acumulación de las piezas
					Revisión de calidad de piezas
					Separación de piezas de baja calidad
	Selección de piezas				
	Embalaje de piezas de baja calidad				

	Embalaje de empaques	de	Embalaje de piezas que cumplen con la calidad del producto
			Almacenamiento de empaques plásticos

Una vez levantada la información del proceso de moldeo por inyección (ver Tabla 25), se realiza un diagrama en donde la información obtenida es organizada según el modelo de proceso de ISA-S88.01, observándose de forma gráfica, que suele ser más comprensible, donde las ramificaciones dan a entender el proceso desde una perspectiva general y sencilla (ver Figura 70).

**Figura 70.** Diagrama del modelo de proceso de inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.



### 2.2.1.2. Modelado del proceso de soplado

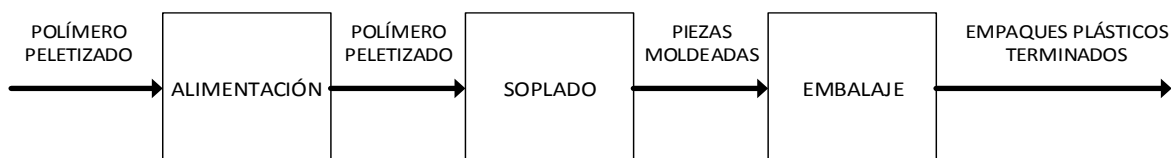
Se presenta el modelado de un proceso de moldeo por soplado real, de la empresa EPO Ltda. Básicamente, el proceso de levantamiento de información es el mismo para cualquier industria, como se realizó en el caso anterior, se visita la planta física de la empresa, se observan los procesos detalladamente y se realizan entrevistas con el personal, obteniéndose la abstracción del flujo de materiales (ver Tabla 26).

**Tabla 26.** Tabla de bajo detalle de entradas y salidas de flujo de materiales del proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.

ENTRADA	OPERACIONES	SALIDA	ETAPAS
Polímero peletizado.	Recepción	Polímero peletizado.	ALIMENTACIÓN
Polímero peletizado.	Alimentación	Polímero peletizado.	
Polímero peletizado.	Extrusión	Película caliente del material fundido.	SOPLADO
Película caliente del material fundido.	Corte	Segmento de película caliente.	
Segmento de película caliente.	Soplado	Segmento de película caliente.	
Segmento de película caliente.	Moldeo	Piezas moldeadas. Rebaba.	
Empaque terminado. Rebaba.	Acumulación	Empaque terminado. Rebaba.	EMBALAJE
Empaques terminados. Rebaba.	Embalaje	Lotes de empaques terminados. Lotes de rebabas.	

La tabla de flujo de materiales aporta las principales operaciones del proceso de moldeo por soplado, generando las etapas de alimentación, soplado y embalaje, que sirven para realizar un diagrama de flujo por etapas, presentando de forma general el proceso por el cual se convierte el polímero en empaques plásticos mediante el moldeo por soplado (ver Figura 71).

**Figura 71.** Diagrama de flujo por etapas del proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.

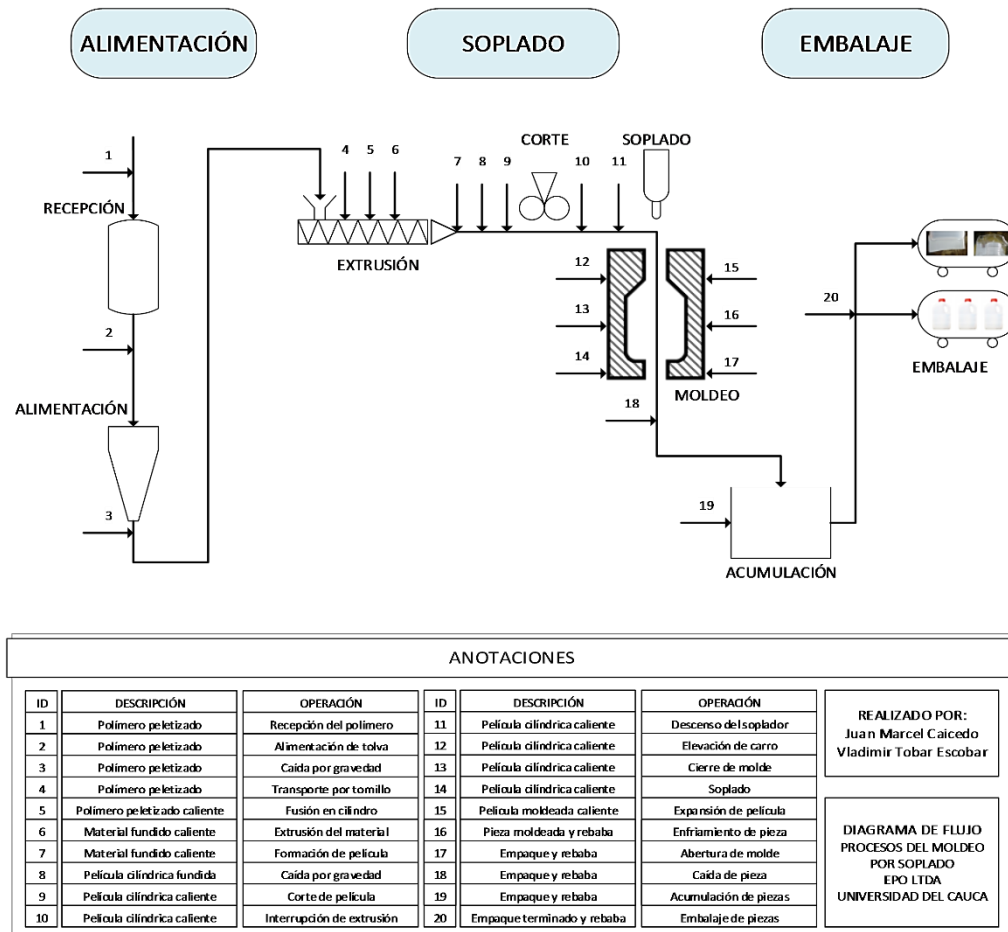


A continuación se presenta una breve descripción del diagrama por etapas del proceso de moldeo por soplado:

- **ALIMENTACIÓN:** tal como la etapa del proceso de inyección, aquí se recibe la materia prima necesaria para alimentar la máquina sopladora, que fabrica los empaques plásticos, esta etapa no tiene mayor cambio en comparación con la anterior (sección 2.2.1.1.).
- **SOPLADO:** etapa principal en el moldeo por soplado, aquí se convierte el polímero peletizado en empaques plásticos, se destacan las operaciones de extrusión, corte, soplado y moldeo.
- **EMBALAJE:** al igual que la etapa de embalaje de la sección anterior (sección 2.2.1.1.), en esta etapa se organizan los productos en lotes de producción para su posterior distribución.

El detalle del modelado dependerá de los requerimientos de la organización solicitante, para este caso, cada etapa tiene otras operaciones complementarias a las principales que se describen en las etapas del proceso de moldeo por soplado o simplemente, proceso de soplado. Además, este proceso, a diferencia del moldeo por inyección, genera un producto y un subproducto, que son respectivamente empaques plásticos y rebabas (ver Figura 72).

**Figura 72.** Diagrama de flujo por operaciones del proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.



Con el PFD del proceso de moldeo por soplado, y basado en ISA-S88.01, se obtiene la información estandarizada del modelo de proceso de soplado. A continuación se presenta una descripción de los componentes de este modelo [27]:

- **PROCESO:** se realiza el modelado del proceso de moldeo por soplado.
- **ETAPAS DE PROCESO:** se identificaron tres etapas de proceso: alimentación, soplado y embalaje.
- **OPERACIONES DE PROCESO:** se determinaron ocho operaciones principales: recepción, alimentación, extrusión, corte, soplado, moldeo, acumulación y embalaje.
- **ACCIONES DE PROCESO:** se encontraron 38 acciones de proceso, necesarias para realizar el moldeo por soplado. Iniciando desde la recepción de material hasta la fabricación del empaque plástico.

Este proceso es un poco más complejo que el de inyección y aunque a primera vista no pareciera así, por las etapas y operaciones de proceso, una idea de la complejidad del proceso se obtiene del análisis de acciones necesarias para producir el empaque por soplado (ver Tabla 27).

**Tabla 27.** Modelo de proceso del moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.

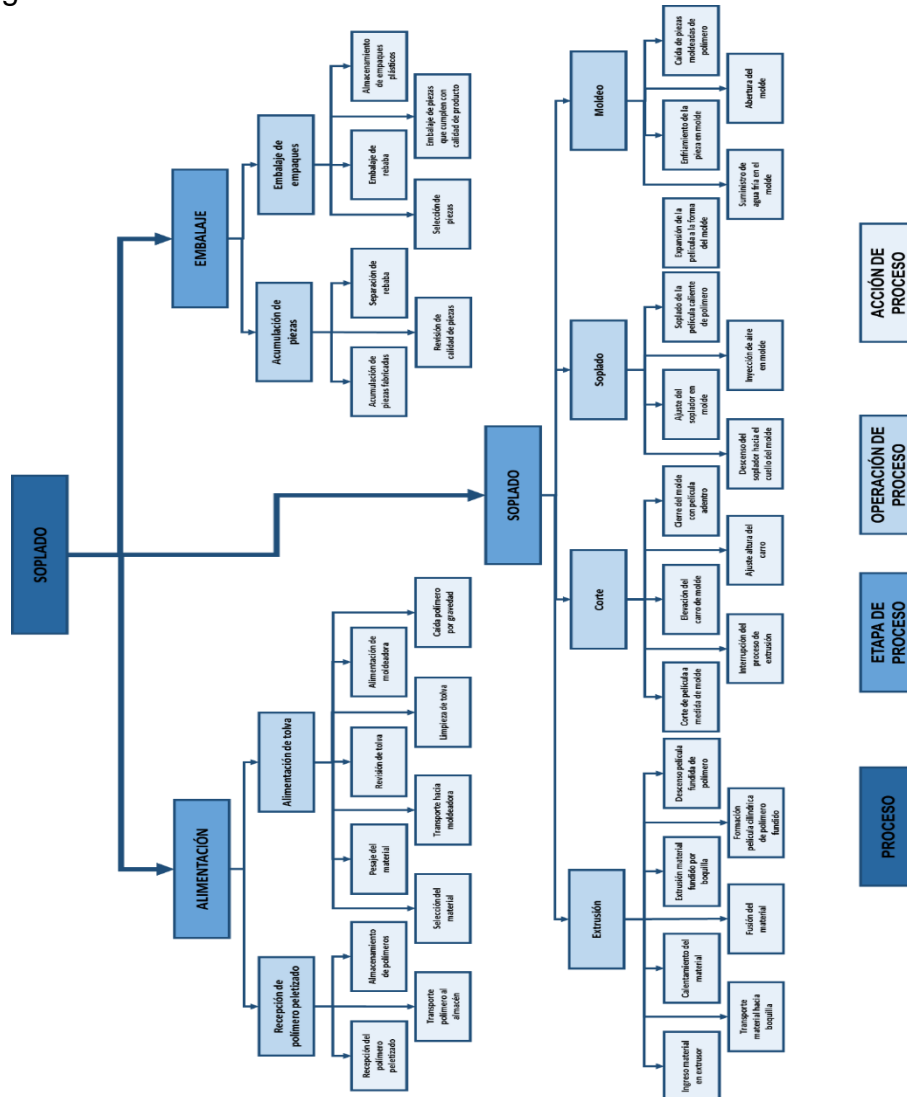
PROCESO	ETAPAS DE PROCESO	OPERACIONES DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
SOPLADO	ALIMENTACIÓN	Recepción de polímero peletizado	Recepción del polímero peletizado
			Transporte polímero al lugar de almacenamiento
			Almacenamiento de polímeros
		Alimentación de tolva	Selección del material
			Pesaje del material
			Transporte hacia la máquina de moldeo
			Revisión de la tolva
			Limpieza de la tolva
			Alimentación de la máquina de moldeo
			Caída del polímero por gravedad
	SOPLADO	Extrusión	Ingreso del material en extrusor
			Transporte del material hacia la boquilla
			Calentamiento del material
			Fusión del material
			Extrusión del material fundido por boquilla
			Formación película cilíndrica de polímero fundido
		Corte	Descenso de la película fundida de polímero
			Corte de la película a la medida del molde
			Interrupción del proceso de extrusión
			Elevación del carro del molde
Soplado	Soplado	Ajuste altura del carro para la película de polímero	
		Cierre del molde con la película adentro	
		Descenso del carro del molde	
		Descenso del soplador hacia el cuello del molde	
		Ajuste del soplador en el molde	
		Inyección de aire en el molde	
Soplado de la película caliente de polímero			



EMBALAJE	Moldeo	Expansión de la película a la forma del molde
		Suministro de agua fría en el molde
		Enfriamiento de la pieza en el molde
		Abertura del molde
		Caída de la pieza moldeada de polímero
	Acumulación de piezas	Acumulación de las piezas
		Revisión de calidad de piezas
		Separación de rebaba
	Embalaje de empaques	Selección de piezas
		Embalaje de rebaba
		Embalaje de piezas que cumplen con calidad
		Almacenamiento de empaques plásticos

Organizando la información del proceso de forma gráfica, se obtiene el diagrama del modelo de proceso del moldeo por soplado. Hace fácil entender este proceso, además de ser una información organizada, documentada y estandarizada (ver Figura 73).

**Figura 73.** Diagrama del modelo de proceso del moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.



### 2.2.1.3. Modelado del proceso de molienda

La molienda es el tercer proceso que realiza la empresa EPO Ltda., es de menor complejidad en comparación con los otros dos anteriores. Este proceso comienza recolectando las rebabas de los otros procesos de moldeo y las piezas que no cumplen con la calidad del producto determinada por la empresa, se acumulan y se almacenan, luego se lleva el material hasta los molinos, se revisa y se limpia la entrada del molino, para empezar a introducir el material, que luego triturará esta máquina, generando un polímero peletizado reciclado que volverá a ser ingresado, en pequeñas cantidades junto con la materia prima, en los procesos de moldeo.

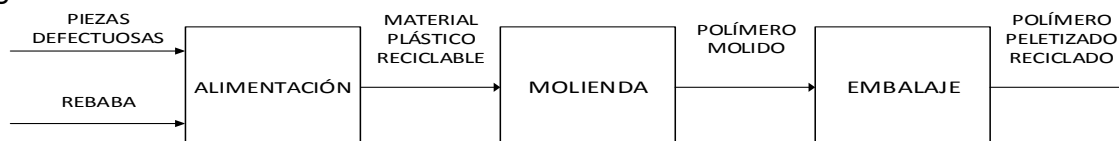
Como resultado de la observación del proceso de molienda y entrevistas con el personal de la planta de producción, se determinan tres etapas: alimentación, molienda y embalaje, de las cuales se obtienen las operaciones de alimentación, molienda y embalaje, en este caso los nombres coinciden debido a la baja complejidad del proceso (ver Tabla 28).

**Tabla 28.** Tabla de bajo detalle de entradas y salidas de flujo de materiales del proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.

ENTRADA	OPERACIONES	SALIDA	ETAPAS
Rebaba. Piezas defectuosas.	Alimentación	Polímero reciclado.	ALIMENTACIÓN
Polímero reciclado.	Molienda	Polímero molido.	MOLIENDA
Polímero molido.	Embalaje	Polímero peletizado reciclado.	EMBALAJE

Se obtiene un material molido de grano pequeño, que por su forma y tamaño es similar con el polímero peletizado que se adquiere como materia prima para fabricar los empaques plásticos, mediante un diagrama por etapas se puede observar el flujo del material, desde el inicio o entrada del proceso hasta obtener el material reciclado, al final o como salida del proceso (ver Figura 74).

**Figura 74.** Diagrama de flujo por etapas del proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.

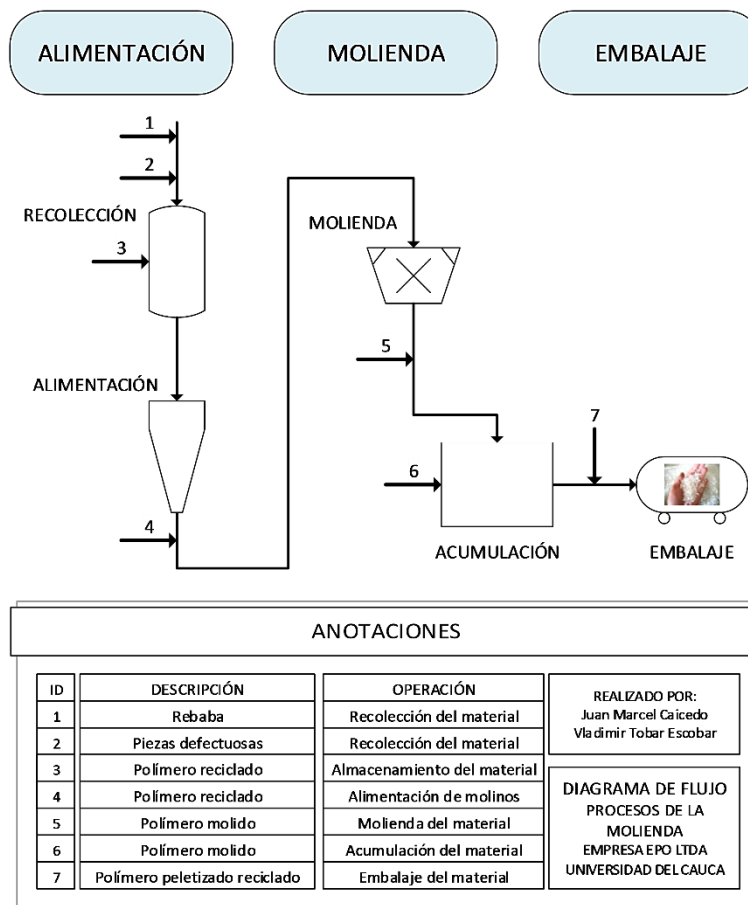


A continuación se hace una breve descripción de las etapas del proceso de molienda:

- **ALIMENTACIÓN:** en esta etapa se recolecta el material reciclado de los procesos de moldeo anteriores, se organiza y almacena, luego se alimenta los molinos con este material.
- **MOLIENDA:** en esta etapa el molino toma el material de la etapa de alimentación, se revisa y limpia la máquina, para luego triturar el material, convirtiéndolo en pellets.
- **EMBALAJE:** al igual que en los procesos anteriores, aquí se organiza el material reciclado, que luego será agregado a los procesos de moldeo junto con la materia prima de polímero.

La observación del flujo de material del proceso de molienda no genera operaciones complementarias, como sucedió anteriormente, ya que este proceso es más sencillo. La molienda prácticamente toma el material de la etapa de alimentación, lo muele y se obtiene un peletizado reciclado de polímeros, que se organiza en la etapa de embalaje (ver Figura 75).

**Figura 75.** Diagrama de flujo por operaciones del proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.



A partir de la información del PFD (ver Figura 75), se observa que la etapa inicial de alimentación puede dividirse, con el fin de generar mayor detalle para facilitar el proceso de molienda. A continuación se describe los componentes de este modelo [27]:

- **PROCESO:** como tercer proceso se obtuvo la molienda de plásticos, que genera material reciclado reutilizable en la fabricación de empaques plásticos (ver Tabla 29).
- **ETAPAS DE PROCESO:** se identificaron cuatro etapas de proceso: recepción, alimentación, molienda y embalaje.
- **OPERACIONES DE PROCESO:** se determinaron seis operaciones: recolección, almacenamiento, alimentación, molienda, acumulación y embalaje.
- **ACCIONES DE PROCESO:** se encontraron 14 acciones de proceso, iniciando con la recolección del material plástico reciclable para la trituración y obtener los pellets de polímero reciclado, que se agregará a los procesos de moldeo, junto con la materia prima.

**Tabla 29.** Modelo del proceso de molienda para reciclar material plástico. Fuente: propia, agosto de 2016.

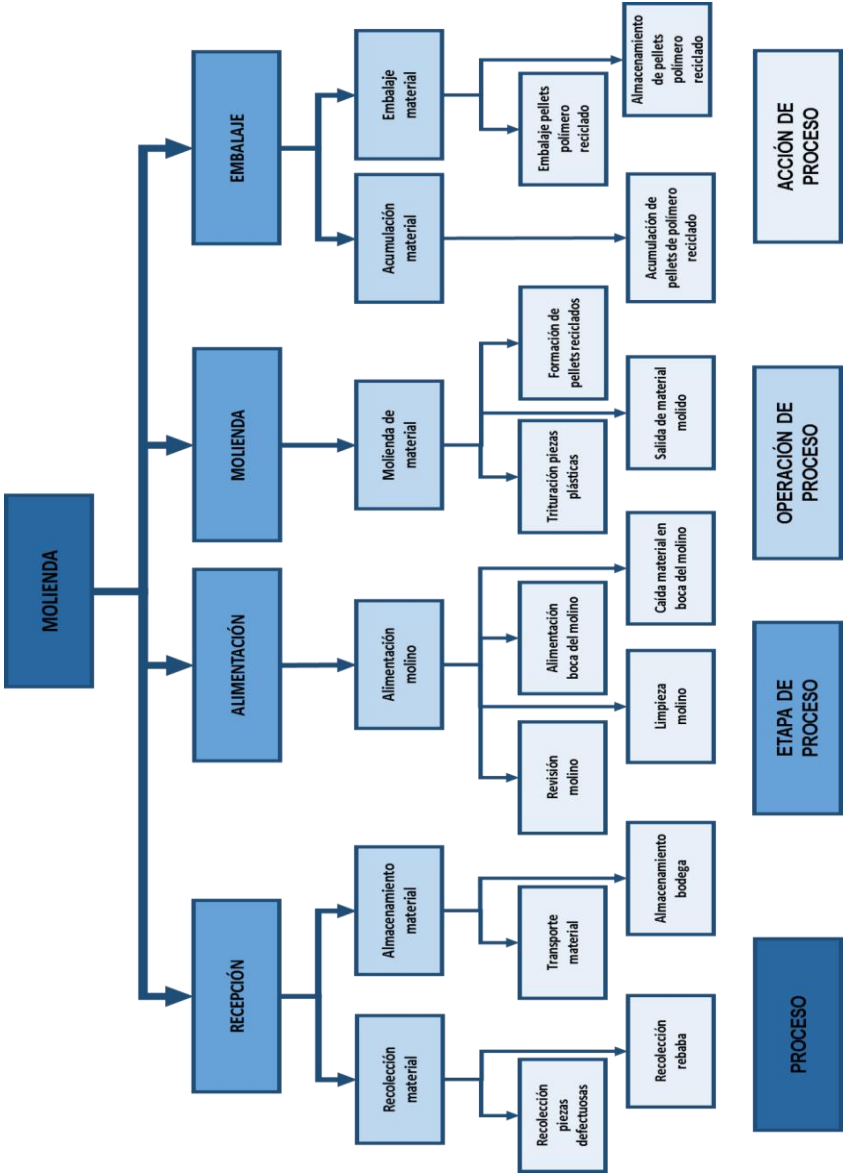
PROCESO	ETAPAS DE PROCESO	OPERACIONES DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
MOLIENDA	RECEPCIÓN	Recolección del material	Recolección de piezas defectuosas
		Almacenamiento del material	Recolección de rebaba
			Transporte del material
			Almacenamiento en bodega
	ALIMENTACIÓN	Alimentación del molino	Revisión del molino
			Limpieza del molino
			Alimentación de boca del molino
			Caída del material en la boca del molino
	MOLIENDA	Molienda de material	Trituración de las piezas plásticas
			Salida de material molido
			Formación de pellets reciclado
	EMBALAJE	Acumulación de material	Acumulación de pellets de polímero reciclado
		Embalaje de material	Embalaje de pellets de polímero reciclado
			Almacenamiento de pellets de polímero reciclado

La información del proceso de molienda se puede organizar de forma estandarizada, mediante ISA-S88.01 modelo de proceso, de esta forma se tiene, gráficamente, un diagrama de fácil entendimiento para personal sin previa información del proceso de la planta de producción de EPO Ltda., (ver Figura 76).

Durante el levantamiento de la información de procesos industriales, se fabricaron diferentes lotes, estos cambios en la línea de producción, para la fabricación de

estas referencias o productos distintos, asociados a los moldes, necesarios para dicha fabricación, representan tiempos perdidos que hacen ineficientes los procesos. Se estima que para el proceso de soplado estos cambios pueden durar de 2 a 3 horas y para el proceso de inyección entre 4 y 5 horas.

**Figura 76.** Diagrama del modelo de proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.



**2.2.1.4. Tiempos muertos entre cambios**

Se pueden calcular los tiempos muertos ocasionados por cambios en la línea de producción, para fabricar diferentes productos, debido a los cambios de moldes. Se toma como ejemplo uno de los productos más fabricados en la empresa (ver Tabla 18), el envase para lácteos de 1 litro, para calcular los tiempos muertos al realizar cambios de moldes, para ello se tiene:

- Producción estimada mensual: 1200 pacas.
- Tiempo/ciclo de fabricación: 20 segundos.
- Tiempo de producción diario: 23 horas.
- Peso del envase de 1 litro: 43 gramos.
- Periodo/ciclo de producción: 4 días
- Duración estimada cambio de moldes: 3 horas

$$1200pacas * 60envases * 43g = 3.096kg$$

$$\frac{60segundos * 60minutos * 23horas}{20segundos} = 4.140unidades \text{ por día}$$

$$4.140unidades * 43gramos = 178,02kg \text{ por día}$$

$$\frac{3.096kg(mes)}{178,02kg(día)} = 21,94días \text{ de producción}$$

NOTA: debido a que la producción se hace por lotes, el tiempo o periodo que se tiene para fabricar los envases plásticos de 1 litro para lácteos, es de 4 días, cumplido este periodo se cambia el molde para fabricar otro productos/referencia.

$$178,02kg * 4periodo = 712,08kg \text{ por periodo}$$

$$\frac{3.096kg}{712,08kg} = 4,35ciclos \text{ de producción}$$

$$4,35ciclos * 3horas = 13,04horas$$

Ahora con el otro parámetro, trabajando con el otro parámetro, por condiciones de mercado se fabrica en periodos de 4 días continuos. Esto implica tiempos perdidos de 3 horas cada vez que se reestablezca la producción de este producto, esto implicaría aproximadamente 13,04 horas de pérdidas en procesos de restablecimiento de producción.

$$\textit{Tiempo fabricación * Tiempo trabajo}$$

## 2.2.2. Equipos industriales

Se utiliza la información de la revisión general y se realiza una nueva visita, ahora técnica, para levantar en detalle la información de los activos físicos, principalmente los necesarios para la producción de la empresa, finalizando con la relación entre los modelos ISA-S88.01.

### 2.2.2.1. Modelo Físico de la planta de producción

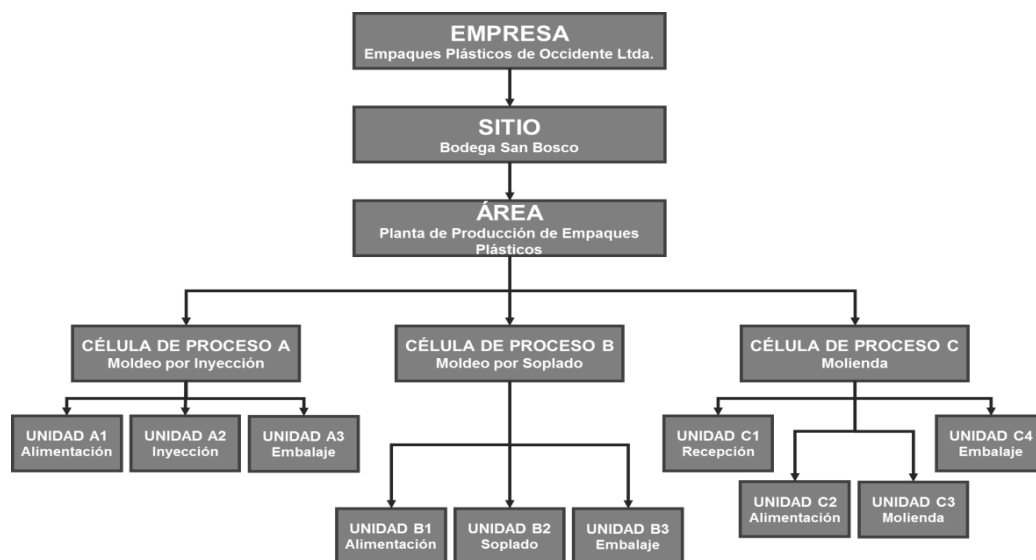
El modelo físico de ISA-S88.01 presenta 7 niveles para la organización de los activos físicos de la empresa en una estructura jerárquica, se le ha agregado un nivel más bajo, de detalle más específico llamado Elementos Principales, en el cual se consigna una valiosa información que será necesaria más adelante, de los

elementos o partes más pequeñas que componen, ya sea los módulos de equipo y/o módulos de control (ver Figura 77).

Los tres primeros niveles corresponden a la parte gerencial y administrativa de la empresa, el estándar no abarca estos tres niveles. Los cuatro niveles siguientes a la maquinaria y equipos de los procesos industriales. El último elemento no hace parte del estándar, pero se ha puesto ya que es una información necesaria para realizar el paso 3 de la guía para la implementación del MEAEEI. A continuación se presenta lo anterior:

- **EMPRESA:** EPO Ltda., es la organización para el caso de estudio.
- **SITIO:** Bodega San Bosco, es el lugar en donde se encuentra la planta de producción y las oficinas de EPO Ltda.
- **ÁREA:** Planta de producción de empaques plásticos, en este caso el sitio y área están en el mismo lugar, aunque el área no abarca las oficinas de la empresa.
- **CÉLULAS DE PROCESO:** se proponen tres células de proceso, que corresponden a los tres procesos de la empresa, célula de proceso A de moldeo por inyección, célula de proceso B de moldeo por soplado y célula de proceso C de molienda, cuyo objetivo es la producción de empaques plásticos.
- **UNIDADES:** las unidades corresponden a las etapas de los procesos anteriores. La célula de proceso A tiene tres unidades, la célula de proceso B tiene tres unidades y la célula de proceso C tiene cuatro unidades.
- **MÓDULOS DE EQUIPO:** a partir de este nivel, se tienen datos de mayor detalle, por lo que esta parte se consigna en una tabla, en que se presenta la información de los módulos de equipo que tiene cada unidad.
- **MÓDULOS DE CONTROL:** son los equipos que llevan a cabo las acciones de control de los módulos de equipo.
- **ELEMENTOS PRINCIPALES:** son las partes físicas más pequeñas de los módulos de equipo y los módulos de control, que cumplen alguna importante función en estos módulos, están en la máquina y se puede: observar a simple vista, reemplazar, reparar, etc., es el mayor nivel de detalle de la información levantada. Esta sección no hace parte del estándar ISA-88, ha sido agregada por los requerimientos del MEAEEI.

**Figura 77.** Modelo físico de la empresa EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.



En las tablas que se presentan a continuación, se consigna la información de cada uno de los tres procesos productivos de EPO Ltda., aplicando ISA-S88.01, es decir, célula proceso, unidad, módulo de equipo y módulo de control, además del adicional: elementos principales. Para el proceso de moldeo por inyección, el modelo físico tiene 1 célula de proceso, 3 unidades, 8 módulos de equipos, 32 módulos de control (aunque muchos se repiten, se dejaron así para la correspondencia entre los modelos ISA-S88.01) y varios elementos principales (ver Tabla 30).

**Tabla 30.** Modelo físico de la unidad de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.

CÉLULA PROCESO	UNIDAD	MÓDULO DE EQUIPO	MÓDULO DE CONTROL	ELEMENTOS PRINCIPALES
CÉLULA DE PROCESO A MOLDEO POR INYECCIÓN	UNIDAD DE ALIMENTACIÓN	Módulo de recepción	Operario	Carro de carga
			Operario	Carro de carga
			Operario	Carro de carga
		Módulo de alimentación	Operario	Manual
			Balanza	Balanza
			Operario	Carro de carga
			Operario	Manual
			Operario	Elementos limpieza
			Operario	Manual
	UNIDAD DE INYECCIÓN	Módulo de extrusión	Operario	Manual
			Servomotor	Correas
			PLC Porcheson Th 118a	Husillo Sistema hidráulico
			PLC Porcheson Th 118a	Resistencias eléctricas
			PLC Porcheson Th 118a	Husillo Sistema hidráulico



		Módulo de inyección	PLC Porcheson PS860am	Sistema hidráulico Regla electrónica	
			PLC Porcheson PS860am	Sistema hidráulico	
			PLC Porcheson PS860am	Sistema hidráulico	
		Módulo de moldeo	PLC Porcheson Th 118a	Molde Regla electrónica Sistema de control de inyección	
			Sistema de refrigeración	Chiller	
			PLC Porcheson Th 118a	Molde	
		Módulo de expulsión	PLC Porcheson Th 118a	Sistema hidráulico	
			PLC Porcheson Th 118a	Sistema hidráulico Expulsores	
			PLC Porcheson Th 118a	Sistema hidráulico Expulsores	
			PLC Porcheson Th 118a	Gravedad	
		UNIDAD DE EMBALAJE	Módulo de acumulación	Operario	Canasta
				Operario	Manual
	Operario			Cuchillas	
	Módulo de embalaje		Operario	Manual	
			Operario	Bolsas	
			Operario	Bolsas	
Operario			Carro de carga		

El modelo físico del procesos de moldeo por soplado, tiene 1 célula de proceso, 3 unidades, 8 módulos de equipos, 37 módulos de control (aunque muchos se repiten, se dejaron así para la correspondencia entre los modelos ISA-S88.01) y varios elementos principales (ver Tabla 31).

**Tabla 31.** Modelo físico de la unidad de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.

CÉLULA PROCESO	UNIDAD	MÓDULO DE EQUIPO	MÓDULO DE CONTROL	ELEMENTOS PRINCIPALES
CÉLULA DE PROCESO B MOLDEO POR SOPLADO	UNIDAD DE ALIMENTACIÓN	Módulo de recepción	Operario	Carro de carga
			Operario	Carro de carga
		Módulo de alimentación	Operario	Carro de carga
			Operario	Manual
			Balanza	Balanza
			Operario	Carro de carga
			Operario	Manual
			Operario	Elementos limpieza
			Operario	Manual
			Operario	Manual
	UNIDAD DE SOPLADO	Módulo de extrusión	Motor	Correas Husillo
			PLC Siemens	Resistencias eléctricas
			PLC Siemens	Resistencias eléctricas
			Variador de velocidad	Correas Husillo
			PLC Siemens	Cilindro

				Boquilla	
			PLC Siemens	Sistema de control de soplado	
		Módulo de corte	Sensores magnéticos Sistema hidráulico		Tornillos Cuchilla Resistencia de corte
				PLC Siemens	Sistema de control de soplado
			PLC Siemens	Sistema hidráulico Sensores magnéticos de posicionamiento	
			PLC Siemens	Tarjeta electrónica/Sistema de control de soplado Sensores magnéticos de posicionamiento	
			PLC Siemens	Sistema hidráulico Tornillos (posicionamiento manual)	
		Módulo de soplado	PLC Siemens	Regla electrónica	
			PLC Siemens	Sistema hidráulico	
			PLC Siemens	Válvulas Sistema neumático	
			PLC Siemens	Sistema neumático	
		Módulo de moldeo	PLC Siemens	Válvulas	
			Sistema de refrigeración	Chiller	
			PLC Siemens	Sistema de control de soplado	
	PLC Siemens		Regla electrónica Sistema hidráulico		
	PLC Siemens		Gravedad		
	UNIDAD DE EMBALAJE	Módulo de acumulación	Operario	Canasta	
			Operario	Manual	
			Operario	Cuchillas	
		Módulo de embalaje	Operario	Manual	
Operario			Bolsas		
Operario			Bolsas		
Operario			Carro de carga		

Para el proceso de molienda, el modelo físico tiene 1 célula de proceso, 4 unidades, 6 módulos de equipos, 14 módulos de control (aunque muchos se repiten, se dejaron así para la correspondencia entre los modelos ISA-S88.01) y 14 elementos principales (ver Tabla 32).

**Tabla 32.** Modelo físico de la unidad de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.

CÉLULA PROCESO	UNIDAD	MÓDULO DE EQUIPO	MÓDULO DE CONTROL	ELEMENTOS PRINCIPALES
CÉLULA DE PROCESO C MOLIENDA	UNIDAD DE RECEPCIÓN	Módulo de recolección	Operario	Bolsas
			Operario	Bolsas
		Módulo de almacenamiento	Operario	Carro carga
			Operario	Carro carga
	UNIDAD DE ALIMENTACIÓN	Módulo de alimentación	Operario	Manual
			Operario	Elementos de limpieza
			Operario	Manual
			Operario	Interruptor mecánico
	UNIDAD DE MOLIENDA	Módulo de molienda	Motor	Cuchillas
			Motor	Correas

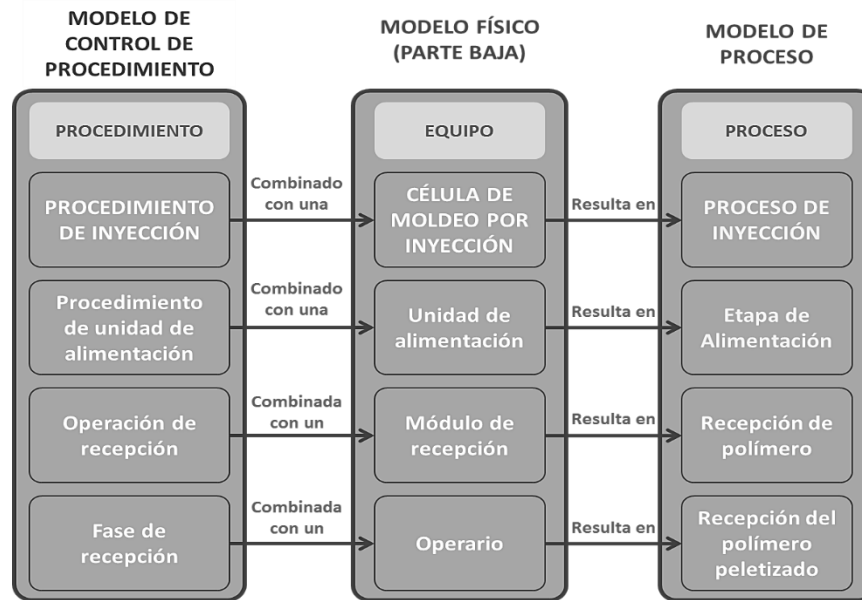
			Motor	Manual
UNIDAD DE EMBALAJE	Módulo de acumulación	Operario	Canasta	
	Módulo de embalaje	Operario	Bolsas	
		Operario	Carro de carga	

### 2.2.2.2. Relación entre modelos ISA-S88.01

ISA-S88.01 presenta una relación directa entre sus tres modelos, por ello al realizar el modelo físico y el modelo de proceso, fácilmente se obtiene en modelo de control procedimental, obteniéndose un modelado muy completo de todo el proceso productivo, para el caso de la aplicación del MEAEEI no fue necesario realizar el modelo de control procedimental, sin embargo se deja la relación entre los tres modelos, para tener una documentación del proceso completo.

Para el proceso de moldeo por inyección, se toman los niveles iniciales en la estructura ISA-S88.01, para este caso se relaciona el proceso con la célula de proceso con el fin de obtener el procedimiento; la etapa de proceso con la unidad con el fin de obtener el procedimiento de unidad; la operación del proceso con el módulo de equipo con el fin de obtener la operación y la acción de proceso con el módulo de control con el fin de obtener la fase (ver Figura 78).

**Figura 78.** Relación entre modelos ISA-S88 para el proceso de moldeo por inyección. Fuente: propia, agosto de 2016.



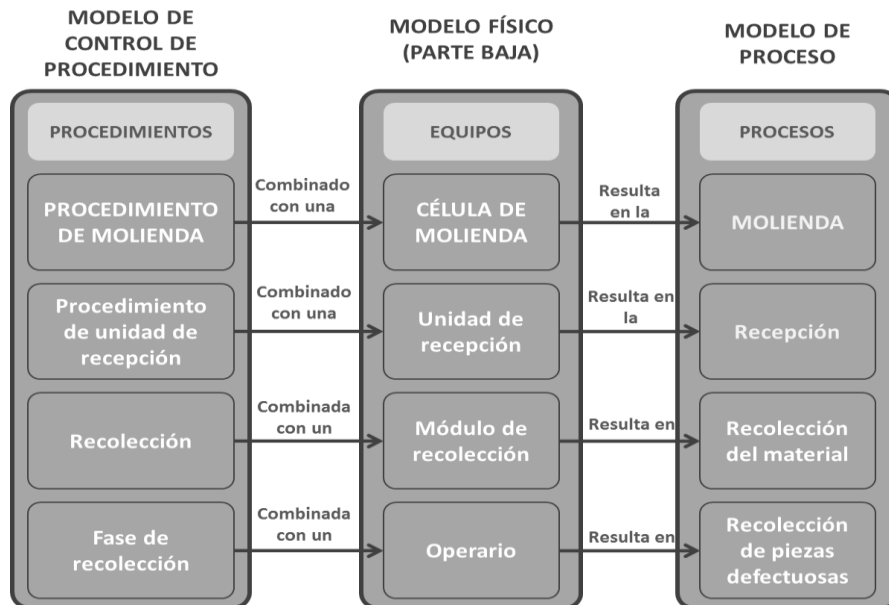
Para el proceso de moldeo por soplado se hace un ejercicio similar al anterior, para este caso particular se relaciona, el proceso de soplado con la célula de moldeo por soplado obteniéndose el procedimiento de soplado; la etapa de alimentación con la unidad de alimentación obteniéndose el procedimiento de unidad de alimentación; la operación de recepción de polímero con el módulo de recepción obteniéndose la operación de recepción y la acción de proceso con el módulo de control (en este caso lo ejerce el operario), obteniéndose la fase de recepción (ver Figura 79).

**Figura 79.** Relación entre modelos ISA-S88 para el proceso de moldeo por soplado. Fuente: propia, agosto de 2016.



Para el caso del proceso de molienda se relacionan: el proceso de molienda con la célula de molienda para obtener el procedimiento de molienda; la etapa de recepción con la unidad de recepción para obtener el procedimiento de unidad de recepción; la operación de recolección del material con el módulo de recolección para obtener la operación de recolección y la acción de recolección de piezas defectuosas con el módulo de operario (en este caso es el operario es quien realiza el control) para obtener la fase de recolección (ver Figura 80).

**Figura 80.** Relación entre modelos ISA-S88 para el proceso de molienda. Fuente: propia, agosto de 2016.



### **2.2.3. Instalaciones eléctricas y calidad de la energía**

El levantamiento de la información se hace en dos partes, una correspondiente a las instalaciones eléctricas y la otra correspondiente a la calidad de la energía.

Para la inspección de las instalaciones eléctricas en EPO Ltda., se siguieron algunas condiciones de calidad sugeridas en el RETIE (ver anexo Guía Especializada EEI, sección 1.1.2 Instalaciones eléctricas). Esta primera parte está encaminada al levantamiento de la siguiente información:

- Conductores.
- Sistema de puesta a tierra.
- Censo de carga.
- Sistema de iluminación.

Mientras que en la calidad de la energía se enfatiza en la calidad de potencia eléctrica suministrada, que se divide en dos, primero la calidad de onda de tensión y corriente y segundo la continuidad del suministro eléctrico, este factor se relaciona con el aumento de la productividad y la mejora en la EE, por lo tanto verificar y exigir unas buenas condiciones de suministro es una tarea prioritaria, debido a la importancia de la energía eléctrica en el entorno industrial, que para algunos expertos representa el principal insumo para su desarrollo [33].

A raíz de esta importancia, una mala calidad de potencia eléctrica suministrada (CPE), puede afectar directamente el funcionamiento de los equipos eléctricos en la industria, generando gastos y otros inconvenientes indeseables, por lo tanto los profesionales en prácticas de EE deben verificar que se cumplan estas condiciones de suministro para optimizar el rendimiento de los equipos y de esta manera mejorar la EE.

Para el estudio de los datos tomados por el analizador de red se han usado algunos lineamientos propuestos por las normas internacionales, a fin de establecer un procedimiento ordenado que permita realizar un diagnóstico de la calidad de la energía eléctrica, aportando así a lo establecido por la norma NTC-ISO 50001, de la siguiente manera:

- Instrumentos de medición de calidad de potencia.
- Medición de parámetros eléctricos.
- Tensiones.
- Corriente.
- Distorsión armónica.
- Factor de potencia.
- Información de consumo energético.

### 2.2.3.1. Conductores

En esta sección se presentan las características de los conductores utilizados en las instalaciones de EPO Ltda., y se describe el material y el diámetro del conductor asociado a la instalación eléctrica de cada máquina, incluyendo la acometida principal (ver Tabla 33).

**Tabla 33.** Conductores en instalaciones eléctricas de EPO Ltda. Fuente: propia agosto de 2016.

Material calibre	Corriente (Amperios)		Sistema de protección	Equipo asociado a la acometida
	Mínima	Máxima		
Cobre			Totalizador (Amperios)	-----
3X12 AWG	L1) 10,6	L1) 21	100	Sopladora Hesta
	L2) 9,6	L2) 20,2		
	L3) 11	L3) 22		
3X12 AWG	L1) 18,5	L1) 19,2	100	Chiller
	L2) 26,4	L2) 26,8		
	L3) 23,1	L3) 23,5		
3X6AWG	L1) 0,8	L1) 22,8	100	Inyectora Servo Motor
	L2) 0,2	L2) 34,6		
	L3) 0,5	L3) 21,3		
3x2 AWG	L1) 35	L1) 106,2	200	Sopladora Chia Ming
	L2) 36,9	L2) 98,5		
	L3) 33,3	L3) 85,6		
3X6 AWG	L1) 19	L1) 32,6	100	Sopladora Bekum
	L2) 18	L2) 28,4		
	L3) 19	L3) 30,2		
3X6 AWG	L1) equipo dañado	L1) equipo dañado	100	Inyectora San Shun
	L2)	L2)		
	L3)	L3)		
3x12 AWG	L1) 15,3	L1) 15,4	100	Compresor
	L2) 15,6	L2) 15,8		
	L3) 14,5	L3) 14,7		
3X6 AWG	L1) 28	L1) 61	100	Molino Grande
	L2) 30	L2) 61		
	L3) 29	L3) 60		
3X12 AWG	L1) 10,6	L1) 15,6	300	Molino pequeño
	L2) 10,2	L2) 15,5		
	L3) 9,9	L3) 15,2		

### 2.2.3.2. Sistema de puesta a tierra

El levantamiento de la información referente al sistema de puesta a tierra no se pudo realizar debido a que la planta de procesamiento de EPO Ltda., no cuenta con un sistema de puesta a tierra activo, es decir, la conexión a tierra inactiva se diseñó por requerimientos de un equipo anterior que fue vendido, todo esto impidió determinar las corrientes circulantes por el conductor conectado al suelo que sirve como medio de protección contra descargas atmosféricas.

### 2.2.3.3. Censo de carga

Estudios realizados acerca del uso de la energía en la industria del plástico, muestran que cerca de 60% es consumida por los equipos de procesamiento, 17% por los compresores del sistema de aire comprimido, 10% en acondicionamiento de aire y ventilación, 8% en iluminación y 5% en refrigeración. De la energía consumida por los equipos de procesamiento cerca de 70% es el aporte del motor principal y el restante 30% es el aporte de las bandas de calefacción. Estimaciones realizadas muestran que de la energía que se suministra a los equipos de procesamiento, se puede perder entre el 30% y el 70% de la energía aportada para la calefacción, cerca del 20% de la energía aportada por el sistema de accionamiento y aproximadamente el 23% de la energía requerida por el sistema de control [30].

El inventario de los equipos que se encuentran en la planta de EPO Ltda., y su consumo respectivo se encuentra registrado en un censo de carga, en la cuales están consignadas las potencia, el consumo promedio que presentan de acuerdo al tiempo de uso y otros datos importantes (ver Tabla 34).

La forma de hallar el consumo de energía por mes, para la energía eléctrica, es multiplicar la potencia de la máquina por las horas de uso en el día por el número de días de uso en un mes (ver Ecuación 11).

**Ecuación 11.** Consumo de energía por mes. Fuente: propia, agosto de 2016.

$$Energía\ consumida_{mes} = Potencia * Hora\ uso_{día} * Días\ uso_{mes}$$

**Tabla 34.** Formato de censo de carga. Fuente: [26].

<b>NOMBRE DE QUIEN REALIZA EL CENSO: _Vladimir tobar escobar</b>										
<b>FECHA: 25 DE JUNIO DE 2016</b>										
ÁREA	EQUIPO	CANT	TIPO DE ENERGÍA	TIEMPO DE USO	POTENCIA	TIEMPO DE USO/DÍA	TIEMPO DE USO/MES	ENERGÍA CONSUMIDA/MES		
PLANTA FÍSICA	Máquina inyectora 1	1	Electricidad		12 kW +2 kW (10,439 kW)	0	-----	-----		
	Máquina sopladora Hesta	1	Electricidad		10 HP (7,457 kW)	23 horas	8 días	1.372 kW		
	Máquina sopladora grande 1	1	Electricidad		20 +15 HP (26,099 kW)	23 horas	20 días	12.005 kW		
	Máquina sopladora Bekum	1	Electricidad		7.7 +7.5 kW	23 horas	20 días	6.992 kW		
	Máquina inyectora 2	1	Electricidad		11 kW+ 580 W	23 horas	10 días	3.864 kW		
	Molino grande	1	Electricidad		24 HP (17,89 kW)	2 hora	6 días	214,68 kW		
	Compresor rojo	1	Electricidad		5,595 kW	24 horas	24 días	3.222 kW		
	Chiller	1	Electricidad		1 kW + 3 kW	24 horas	24 días	2.304 kW		
	Molino pequeño	1	Electricidad		6.6 HP (4,92 kW)	1.5 horas	8 días	59,04 kW		
	Lámparas de tubo fluorescente T12 120cm	4	Electricidad		2*75 W + 9 W	24 horas	30 días	251 kW		
	Equipo de oficina	2	Electricidad		2 kW	8 horas	24 días	384 kW		
	ADMIN.									



### 2.2.3.4. Sistema de iluminación

El sistema de iluminación de la empresa EPO Ltda., está constituido por lámparas ahorradoras, de tubos fluorescentes de diferentes tamaños, por ello se necesita saber el consumo de este sistema, que será comparado con un cálculo de lámparas más eficientes, como es el caso de las lámparas led. Para el cálculo del consumo del sistema de iluminación actual, se realizaron una serie de ecuaciones sencillas, las cuales se presentan a continuación:

**Ecuación 12.** Cantidad de lámparas fluorescentes. Fuente: propia, septiembre de 2016.

$$Cantidad = (4_{lamp.T8})(2_{unid.})$$

**Ecuación 13.** Potencia de una lámpara fluorescente. Fuente: propia, septiembre de 2016.

$$Potencia = (75_w * 2_{unid.}) + 9_{Balastro} = 159w$$

**Ecuación 14.** Potencia total. Fuente: propia, septiembre de 2016.

$$Potencia Total = Potencia * Cantidad = 636w$$

**Ecuación 15.** Cálculo de horas de funcionamiento de lámparas. Fuente: propia, septiembre de 2016.

$$Uso = (24_h)/día$$

**Ecuación 16.** Energía total consumida. Fuente: propia, septiembre de 2016.

$$Energía = Potencia Total * Uso * 30_{mes}/1000_{En kW} = 458 kWh$$

Los datos obtenidos mediante el cálculo matemático (ver Ecuación 12 hasta la Ecuación 16), se registran en un formato, que luego será de utilidad para conocer los posibles ahorros de cambiar las lámparas antiguas por nuevas lámparas más eficientes (ver Tabla 35).

**Tabla 35.** Consumo actual del sistema de iluminación de lámparas fluorescentes. Fuente: propia, agosto de 2016.

CONSUMO ACTUAL							
Nombre del Equipo	Cant	Cant Tubo	Tensión (Voltios)	Potencia (Watts)	Uso (H/Día)	Potencia Total (Watts)	Energía (kWh)
Tubo fluorescente T12 240cm	4	8	120	159	24	636	458
Tubo fluorescente T12 120cm	4	8	120	87	24	348	251
Tubo fluorescente T12 120cm (Oficina)	1	2	120	87	12	87	31
<b>Consumo total en Iluminación</b>							<b>740</b>

Finalmente se hace un cálculo del consumo proyectado por las lámparas led, que son más eficientes que las lámparas fluorescentes instaladas en la empresa, teniendo en cuenta que la iluminación de la planta de producción como mínimo debe mantenerse y si es posible, mejorarse (ver Tabla 36).

**Tabla 36.** Consumo proyectado después del cambio del sistema de iluminación por lámparas led. Fuente: propia, agosto de 2016.

POTENCIAL DE AHORRO								
Medidas propuestas	Uso (H/Día)	Can t led	Can t	Potencia (Watts)	Potencia Total (Watts)	Energía proyectada (kWh)	Energía Ahorrada (kWh)	Factor de Ahorro
TUBO LED T8 20W	24	16	4	20	320	230,4	228	49,69 %
TUBO LED T8 20W	24	8	4	20	160	115,2	135	54,02 %
TUBO LED T8 20W	12	2	1	20	40	14,4	17	54,02 %
<b>TOTAL PROYECTADO</b>						<b>388,8</b>	<b>413,64</b>	<b>51,55 %</b>

### 2.2.3.5. Instrumentos de medición de calidad de potencia eléctrica

El registro de los eventos se hizo utilizando el analizador de red Dranetz Power Visa, el cual incorpora compatibilidad para eventos contemplados en las principales normas internacionales. Esta versión no posee las características para detectar eventos catalogados como transitorios u oscilatorios (Ver Figura 81).

**Figura 81.** Analizador de red, Dranetz Power Visa. Fuente: propia, agosto de 2016.



Para capturar los datos se instaló un punto de medición en el barraje del totalizador termomagnético principal, el cual se encuentra al principio de la instalación eléctrica, con el fin de determinar las condiciones iniciales de suministro de calidad de potencia eléctrica. A continuación se mencionan las normas con las cuales tiene compatibilidad el analizador de red:

- Avanzada PQ IEC 61000-4-30 Clase A y IEEE 1159 compatible.
- Armónicos - IEC 61000-4 -7, IEEE 519.

Para la conexión del analizador de red se utilizó la configuración típica trifásica en estrella, debido a las condiciones eléctricas encontradas en EPO Ltda., con un factor de escala en 1, porque la medición se está realizando directamente. Para la medición de los valores nominales de tensión medidos entre cada línea y neutro, en este caso 120v, y los valores nominales de corriente, se utilizaron pinzas flexibles compuestas por bobinas tipo Rogowski, ideales para mediciones en AC, las cuales están disponibles dentro de los accesorios adicionales para esta versión del analizador de red. En cuanto a la conexión del neutro es necesario conectar los bornes provistos para cada fase entre si y finalmente el terminal de la línea a tierra se debe conectar mediante la pinza designada (ver Figura 82).

**Figura 82.** Conexión analizador de red Dranetz. Fuente: propia, agosto de 2016.



El analizador de red Dranetz Power Visa compara la forma de onda ciclo a ciclo utilizando un registro de 512 muestras por ciclo, mediante la configuración del monitoreo de eventos, de tal manera que se evalúa la forma de onda en una ventana del 15% del ciclo actual con respecto al ciclo anterior, de esa forma, cuando haya una diferencia que supere un umbral pre-establecido para cada valor nominal, habrá una distorsión en la forma de onda del ciclo actual, que se guardará como un evento, incluidos los 2 ciclos siguientes y anteriores al mismo.

#### **2.2.3.6. Medición de parámetros eléctricos**

La medición de los parámetros eléctricos se realizó con la ayuda de analizador de red Dranetz Power Visa, durante un tiempo de 7 días comprendido entre el 29 de julio al 5 agosto de 2016, durante ese tiempo se detectaron eventos que serán analizados en esta sección, los parámetros de esos registros se compraran con aquellos establecidos por las normas internacionales vigentes y la reglamentación colombiana para diagnosticar el estado de calidad potencia suministrada, para ello

de proponen dos categorías que permitan detectar el estado de cada parámetro en relación a la norma [33].

1. **Aceptable:** el parámetro medido está dentro del rango permitido por las normas referenciados para el análisis de la potencia eléctrica suministrada.
2. **Deficiente:** el parámetro medido no está dentro de rango permitido por las normas referenciadas para el análisis de la potencia eléctrica suministrada.

### 2.2.3.7. Tensiones

Las variaciones máximas de tensión para redes de baja tensión (menores a 1 kV), están comprendidas entre el 90% y el 105% de la tensión nominal, destacando que en ningún caso, como lo recomienda el estándar IEEE1100/99, ésta podrá superar el 105% del valor nominal, así, para un valor de tensión nominal de 120 v tiene unas variaciones de 127 y 108 para valores máximos y mínimos respectivamente (ver Tabla 37).

**Tabla 37.** Rango de tensiones establecidas según la norma NTC 1340. Fuente: [28].

TENSIÓN NOMINAL (V)	VARIACIÓN DE TENSIÓN MAX (V)	VARIACIÓN DE TENSIÓN MIN (V)
120	127	108
208	220	187
240	254	216
277	293	249
480	508	432

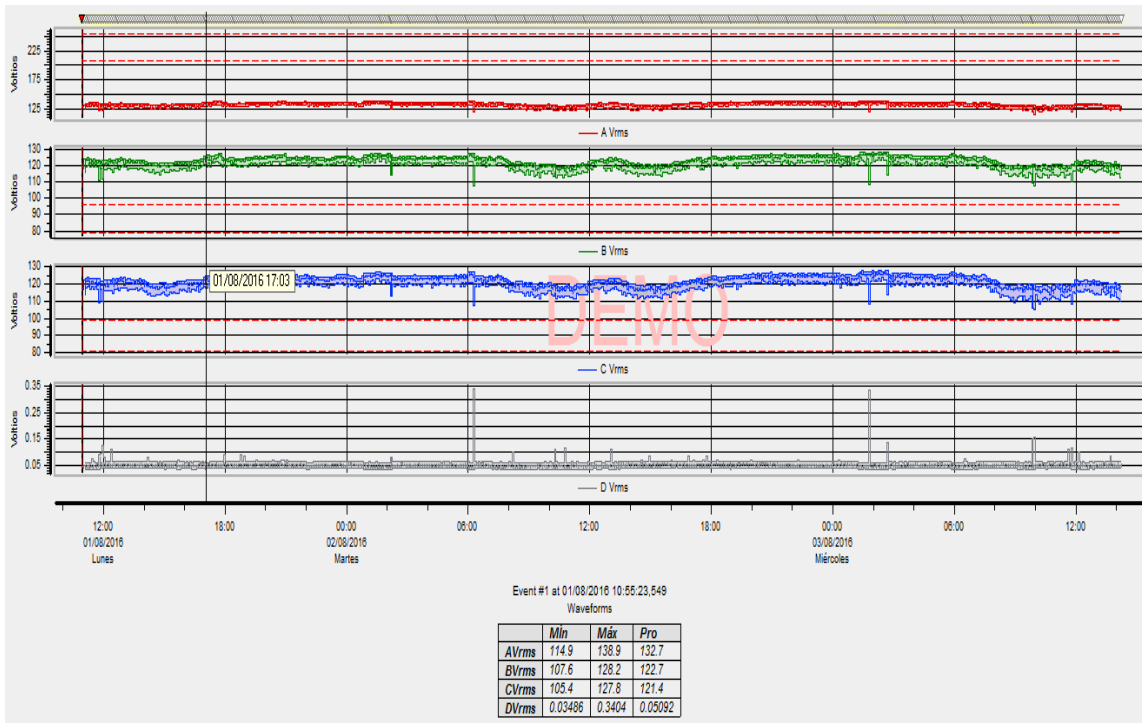
El analizador de red Dranetz presenta la información mediante una interfaz gráfica, en donde se pueden observar las tendencias de tensiones de las líneas A, B y C, de la empresa EPO Ltda., con valores aproximados de 226v, 157v y 233v (ver Tabla 38).

**Tabla 38.** Valores de tensión entre líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.

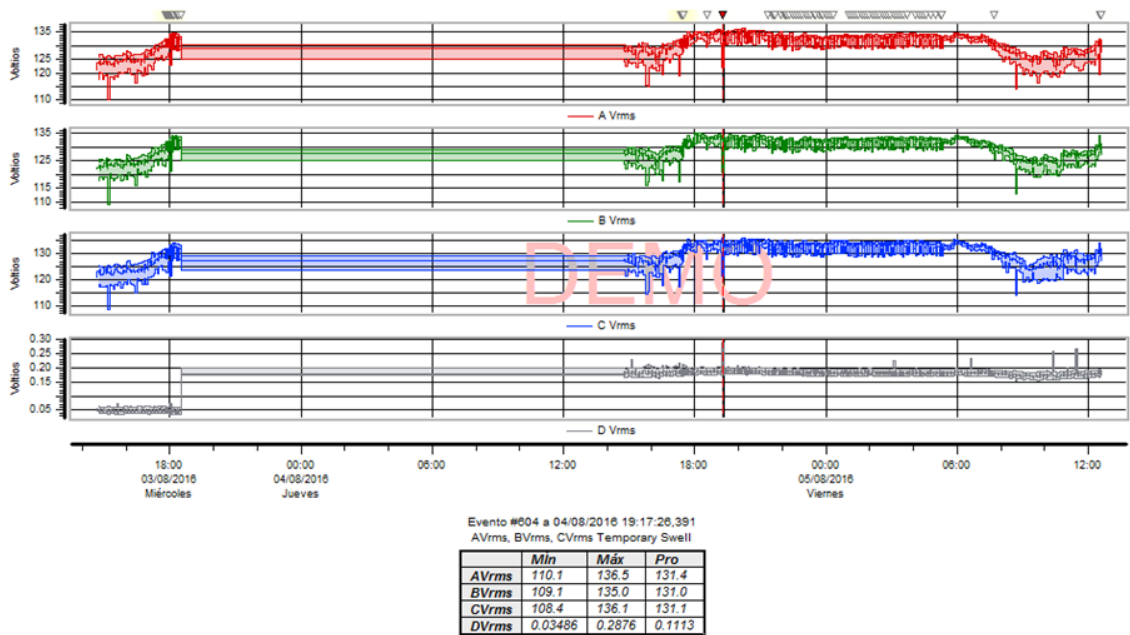
A-BV	B-CV	C-AV
226.13	157.18	233.64

También, a partir de la gráfica de Dranetz, es posible obtener más datos, incluyendo las estadísticas correspondiente a los valores obtenidos de las líneas, para este caso las mediciones presentes se llevaron a cabo desde el 01/08/2016 a las 10:53 am hasta el 03/08/2016 a las 2:15 pm (ver Figura 83), desde el 03/08/2016 a las 14:39 pm hasta el 05/08/2016 a las 12:35 pm (ver Figura 84)

**Figura 83.** Diagrama 1 de tendencias de tensiones de las líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.

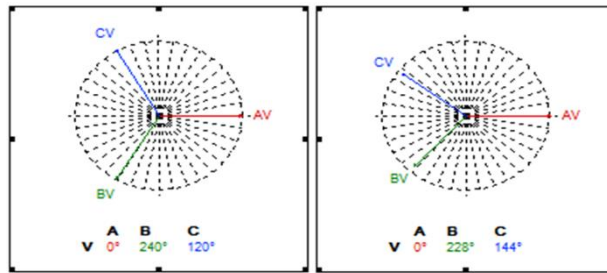


**Figura 84.** Diagrama 2 de tendencias de tensiones de las líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.



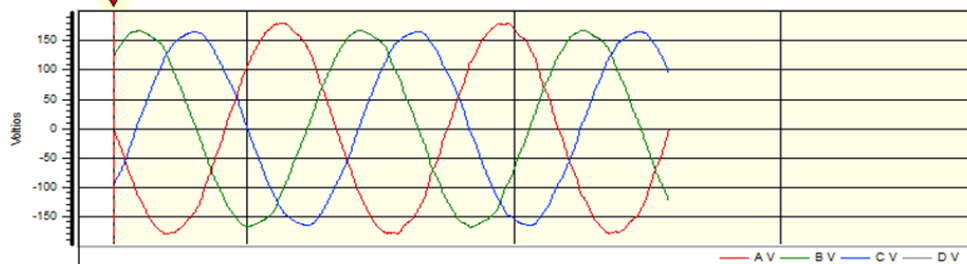
Otro aporte interesante son las gráficas fasoriales y de señales de las líneas de la red eléctrica de EPO Ltda., donde se observa gráficamente como están estas fases entre sí (ver Figura 85).

**Figura 85.** Diagrama fasoriales 60 Hz de tensiones. Fuente: propia, agosto de 2016.



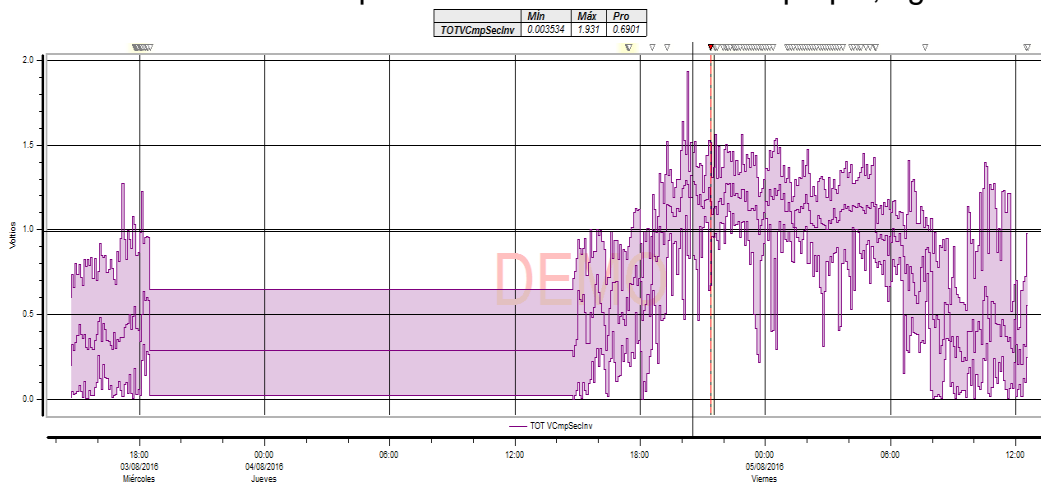
El equipo también presenta una gráfica en donde se observa la forma de onda de las señales de tensión del transformador (ver Figura 86).

**Figura 86.** Formas de onda señales de tensión del transformador. Fuente: propia, agosto de 2016.



Se presentaron eventos transitorios en tensión que son causa potencial de arranques de motores, mal funcionamiento de luminarias de vapor de descarga, alteraciones de señales de control, paradas repentinas de procesos industriales o por daños de equipos. La duración de estos eventos estuvieron por fuera de los rangos recomendados (ver Figura 87).

**Figura 87.** Tendencias desequilibrio de tensiones. Fuente: propia, agosto de 2016.



Resumen de los peores casos en EPO Ltda., medidos desde el 01/08/2016 a las 10:55 hasta el 03/08/2016 a las 14:15 también fue posible obtener mediante el analizador de red Dranetz (ver Tabla 39).

**Tabla 39.** Resumen de los peores casos en EPO Ltda. Fuente: propia, agosto 2016.

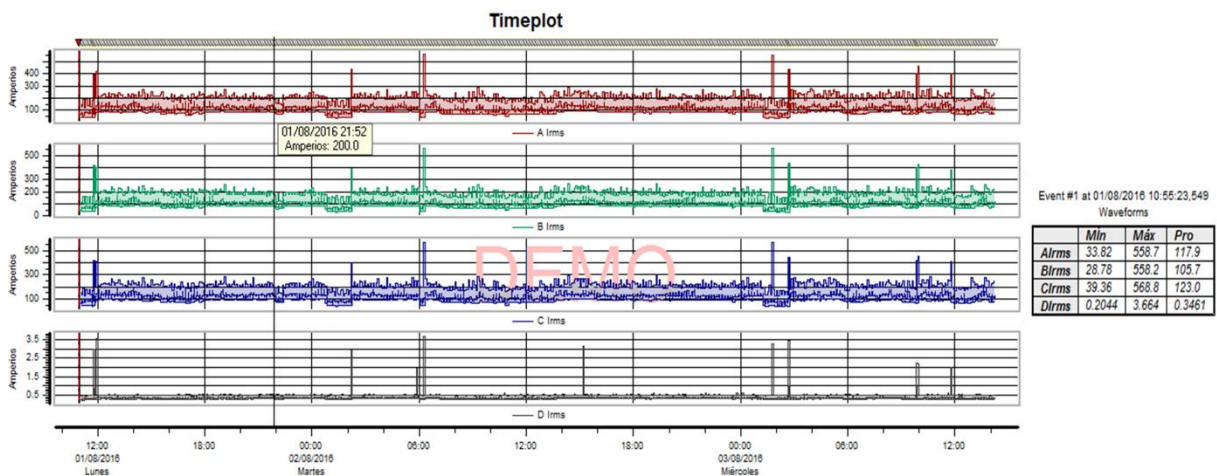
CRITERIO	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
De 0 total de Huecos de Tensión	----	----	----	----
De 0 total de Sobretensiones	----	----	----	----
De 0 total de Interrupciones de Tensión	----	----	----	----
De 10 Total de Transitorios de Tensión	----	----	----	----
La mayor magnitud	C	----	55,6 v 0,001 seg.	03/08/2016 02:43:57
	B	----	32,3 v 0,000 seg.	03/08/2016 43:57
	C	----	31,6 v 0,000 seg.	01/08/2016 11:48:39
	B	----	23.7 v 0,001 seg.	03/08/2016 09:52:35

### 2.2.3.8. Corriente

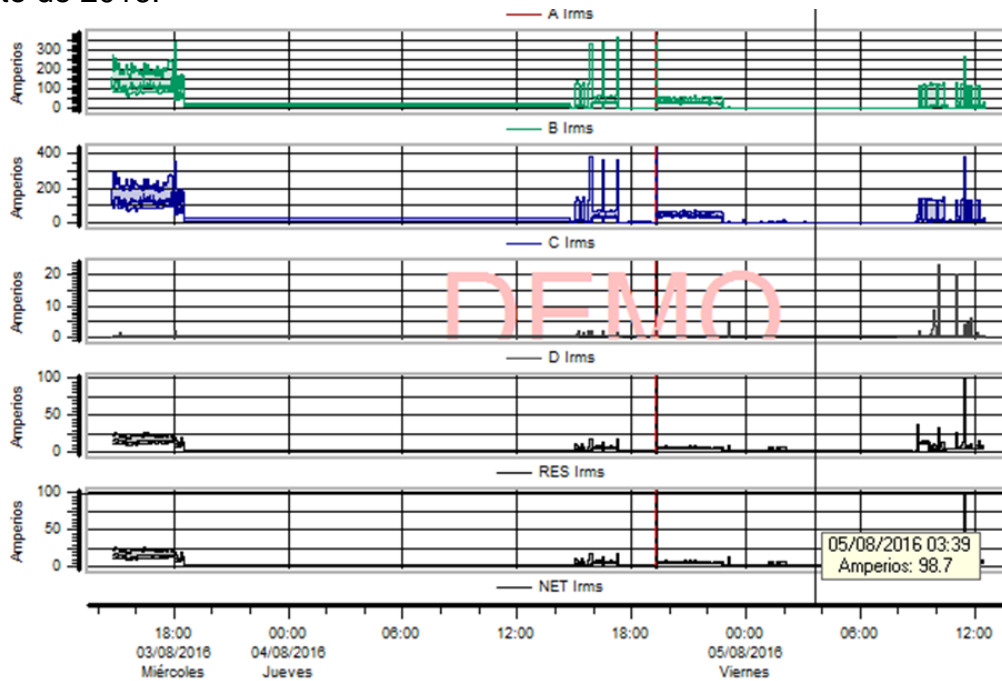
Las normas establecen condiciones de desbalance de corriente no superior al 15% máximo entre las fases, además de un correcto dimensionamiento para el conductor de neutro que por condiciones no ideales puede presentar circulación de corrientes en algunos casos iguales o superiores al de las fases [31].

La presencia de corriente de DC en un sistema de corriente AC, se denomina corriente DC Offset, generalmente se presenta por la rectificación de media onda y controladores de luces incandescentes, sus mayores efectos en transformadores, cuando se polarizan sus núcleos, son: saturación, calentamiento y reducción de la vida útil. Por ello también es importante hacer un análisis de las corrientes y sus tendencias en la red eléctrica de EPO Ltda., tomadas desde el 01/08/2016 a las 10:53 am hasta el 03/08/2016 a las 2:15 pm (ver Figura 88) y las tomadas desde el 03/08/2016 a las 14:39 pm hasta el 05/08/2016 a las 12:35 pm (ver Figura 89).

**Figura 88.** Diagrama 1 tendencias de corrientes de líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.



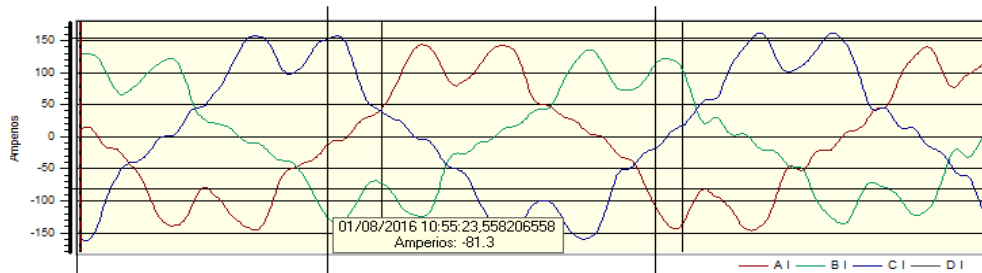
**Figura 89.** Diagrama 2 de tendencias de corriente de líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.



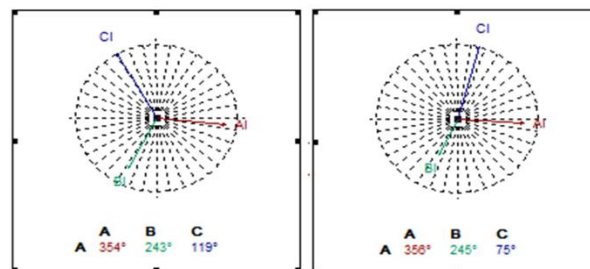
Evento #604 a 04/08/2016 19:17:26,391  
AVrms, BVrms, CVrms Temporary Swell

	Mín	Máx	Pro
<i>Alrms</i>	1.670	415.2	48.30
<i>Blrms</i>	0.1566	375.5	40.23
<i>Clrms</i>	0.9563	419.7	48.94
<i>Dlrms</i>	0.05078	23.26	0.1871
<i>RESlrms</i>	1.166	97.98	7.916
<i>NETlrms</i>	1.335	98.25	7.979

**Figura 90.** Formas de onda de las señales de corriente del transformador. Fuente: propia, agosto de 2016.



**Figura 91.** Diagrama fasoriales 60 Hz de corriente. Fuente: propia, agosto de 2016.

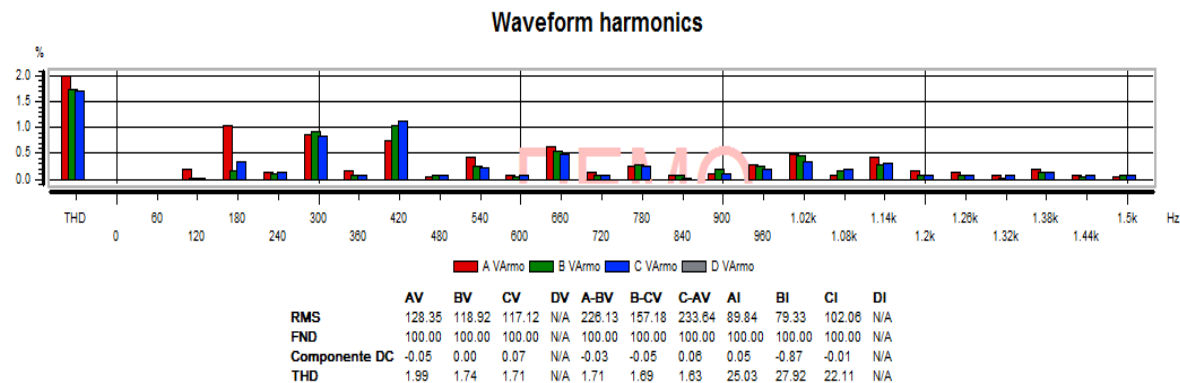




### 2.2.3.9. Distorsión armónica

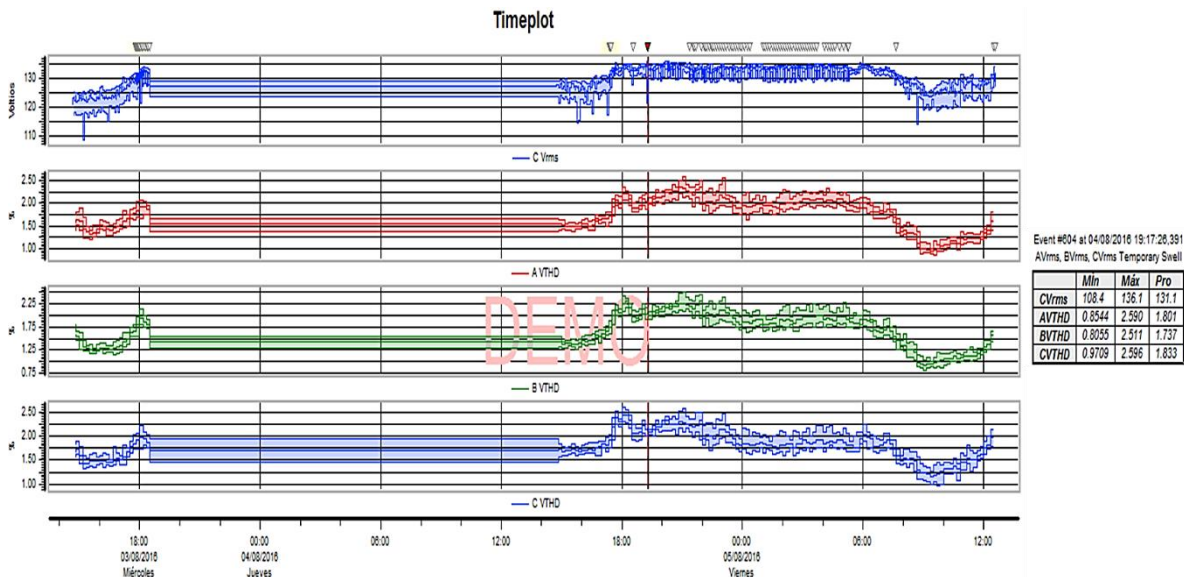
Los armónicos están asociados a la presencia de cargas no lineales en una red eléctrica, estos producen unas variaciones en los valores fundamentales de frecuencia y amplitud nominales, dando como resultado una onda no perfectamente sinusoidal. Para la obtención de los registros de los armónicos, la norma IEEE 519 establece hacer mediciones mínimo cada 10 minutos para registros mayores a un día. El diagrama de transformada discreta de Fourier (DFT), hace la representación en el dominio de la frecuencia, para los armónicos múltiplos de la frecuencia fundamental de 60 Hz (ver Figura 92).

**Figura 92.** Diagrama de DFT. Fuente: propia, agosto de 2016.



A continuación se muestran los diagramas de las fases A, B y C para los armónicos asociados a cada una de ellas, tanto en tensión como en corriente, con el fin de ver el comportamiento específico de cada fase, durante el periodo comprendido entre el 01/08/2016 hasta el 03/08/2016 (ver Figura 93).

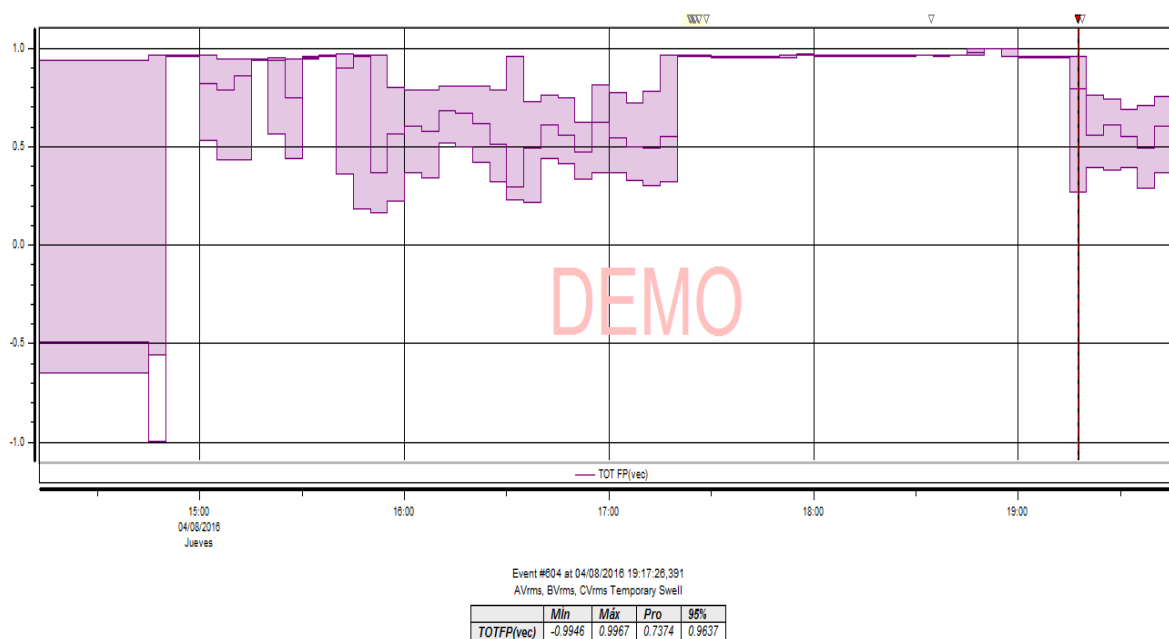
**Figura 93.** Diagrama de fase de armónico en tensión para las líneas A, B y C. Fuente: propia, agosto de 2016.



### 2.2.3.10. Factor de potencia

Mediante el analizador de red de Dranetz se obtuvo un diagrama de tendencia del factor de potencia (ver Figura 94) y se realizó el levantamiento de la información para este mismo, considerándose todas las fases de la instalación eléctrica trifásica de EPO Ltda., resaltando que la normativa colombiana establece, que el factor de potencia debe ser superior a 0,9 (para más detalles consultar el anexo de la guía especializada EEI, sección 1.1.26 Mejoramiento del factor de potencia).

**Figura 94.** Diagrama de tendencia del factor de potencia. Fuente: propia, agosto de 2016.



### 2.2.3.11. Información de consumo energético

Para aplicar una solución de EE en una industria, es necesario saber la calidad de la energía que brinda el proveedor del servicio. Ya que un buen nivel de tensión garantiza que las máquinas tendrán la alimentación adecuada para su funcionamiento; lo contrario, un nivel malo o bajo en esta tensión, implica pérdidas y/o uso ineficiente de la electricidad, aumentando los costos ligados a la producción del lote.

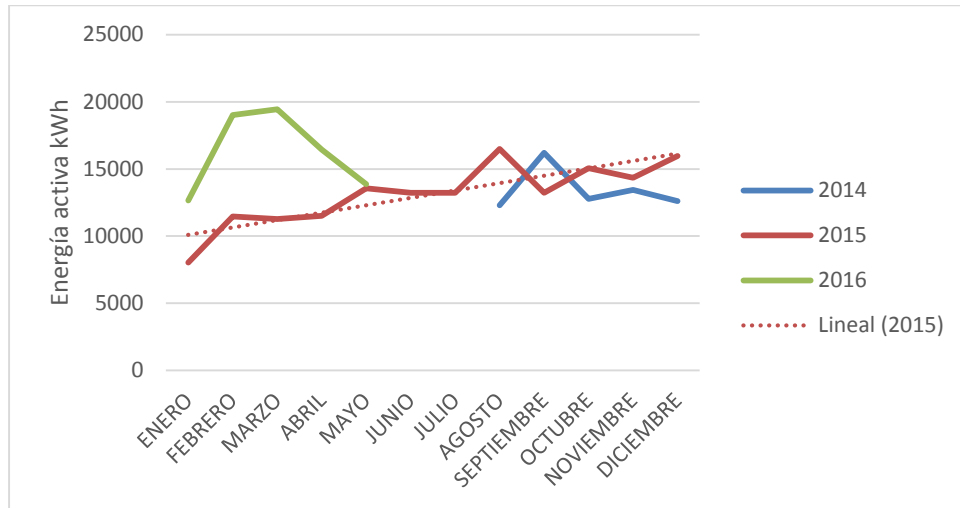
Las facturas del operador de red constituyen la primera fuente de información del consumo de energía eléctrica de la organización. Para la empresa EPO Ltda., el operador de red es EMCALI EICE ESP. La información de estas facturas se puede organizar en una tabla donde es posible realizar operaciones, según sea requerido, con el fin de realizar un análisis de la información. Es necesario tener la información de años anteriores, para este caso se logró obtener las facturas de los años 2014, 2015 y 2016, aunque la información del 2014 no se encontró completa (ver Tabla 40).

**Tabla 40.** Consumo mensual de energía activa de la empresa EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.

<b>MES</b>	<b>2014 (kWh)</b>	<b>2015 (kWh)</b>	<b>2016 (kWh)</b>
ENERO		8040	12660
FEBRERO		11460	19020
MARZO		11280	19440
ABRIL		11520	16440
MAYO		13560	13860
JUNIO		13230	
JULIO		13230	
AGOSTO	12300	16500	
SEPTIEMBRE	16200	13220	
OCTUBRE	12780	15067	
NOVIEMBRE	13440	14340	
DICIEMBRE	12600	15960	
<b>PROMEDIO</b>	<b>13464</b>	<b>13117</b>	<b>16284</b>

El comportamiento energético de la empresa se puede observar al realizar una gráfica, en donde se ingresan los datos de las facturas. El año 2015 tiene los datos completos de todos los meses, con lo cual se observa un comportamiento creciente en el consumo de la energía eléctrica de ese año, aunque los datos del 2014 y 2016 están incompletos, se observa que en el transcurso del año 2016 ha aumentado drásticamente el consumo de energía eléctrica, para tener las razones por las cuales ha sucedido este aumento sería necesario evaluar la producción y el desempeño energético de la planta de producción (ver Figura 40).

**Figura 95.** Gráfica del consumo mensual de energía activa. Fuente: propia, agosto de 2016.



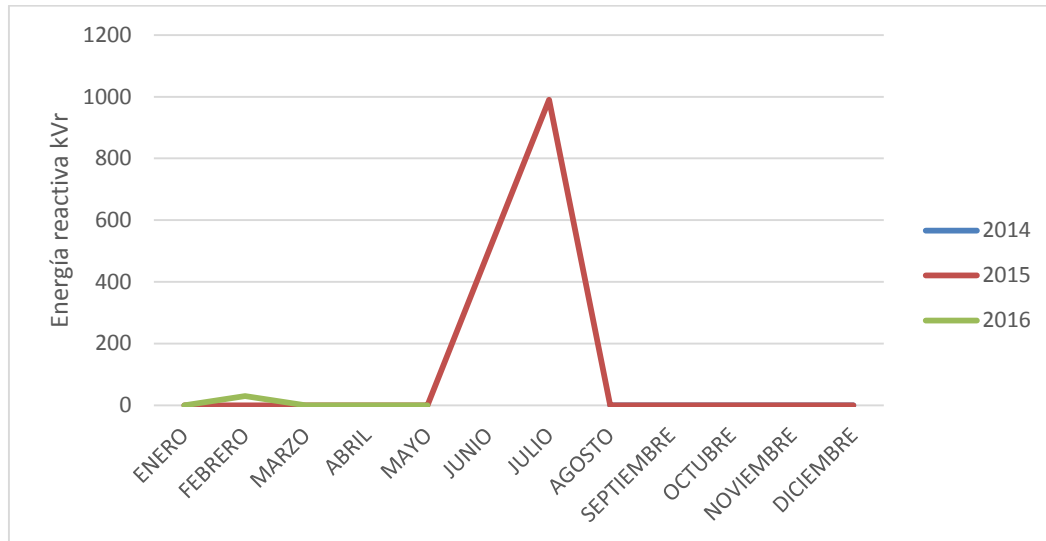
Las facturas del operador de red, también presentan la información correspondiente al consumo de energía reactiva, con esta información se puede tener como es la energía reactiva en la empresa (ver Tabla 41).

**Tabla 41.** Consumo mensual de energía activa. Fuente: propia, agosto de 2016.

MES	2014 (kWh)	2015 (kWh)	2016 (kWh)
ENERO		0	0
FEBRERO		0	30
MARZO		0	0
ABRIL		0	0
MAYO		0	0
JUNIO		495	
JULIO		990	
AGOSTO	0	0	
SEPTIEMBRE	0	0	
OCTUBRE	0	0	
NOVIEMBRE	0	0	
DICIEMBRE	0	0	
<b>PROMEDIO</b>	<b>0</b>	<b>124</b>	<b>6</b>

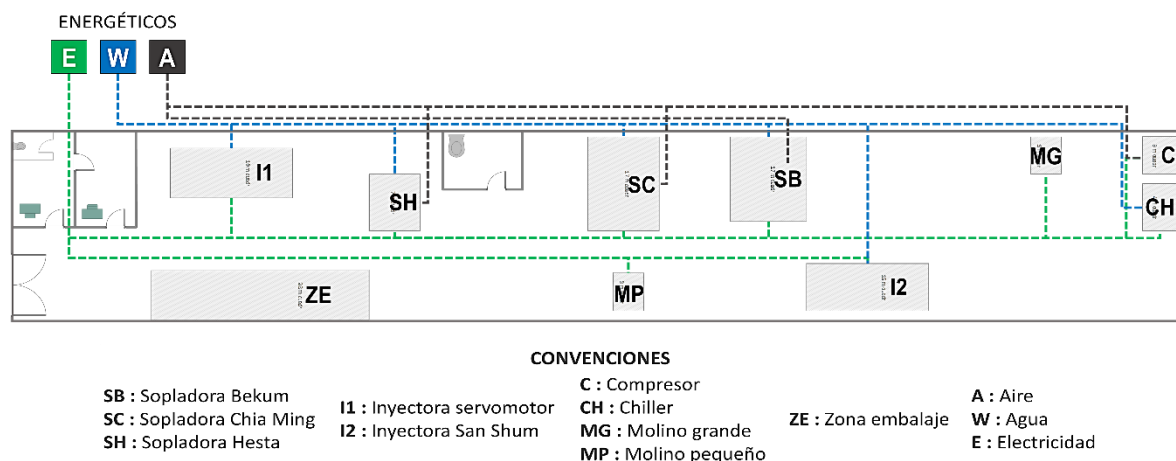
Todos estos datos es conveniente graficarlos para un mejor estudio y análisis del uso y consumo de la energía. Así, se ve que en los meses de junio y julio de 2015 se disparó la energía reactiva, caso particularmente extraño, ya que la empresa no tiene energía reactiva en el resto de meses o es muy baja (ver Figura 96).

**Figura 96.** Gráfica de consumo de energía reactiva. Fuente: propia, agosto de 2016.



La planta de producción de EPO Ltda., tiene un área construida de 600 m<sup>2</sup> aproximadamente, utiliza electricidad, agua y aire en sus procesos. Todas las máquinas hacen uso de la electricidad para su operación; el agua es utilizada por todos los equipos menos los molinos y el compresor; y solo el compresor y las sopladoras hacen uso del aire (ver Figura 97).

**Figura 97.** Mapa procesos energéticos EPO Ltda. Fuente: propia, agosto de 2016.



## **2.2.4. Hábitos y prácticas industriales**

El levantamiento de la información de hábitos y prácticas industriales se basa en entrevistas con cada una de las personas que trabajan en la empresa, dependiendo de los requerimientos se puede realizar en la parte de producción y/o administrativa, en este caso se realizan entrevistas del área de producción.

En este caso, se destaca que el dueño de la empresa es quien más conocimiento tiene sobre las áreas, procesos y equipos de la empresa EPO Ltda., gracias a esto se pudo realizar el levantamiento de la información presente en la Revisión General, los Procesos industriales y los Equipos industriales, sin embargo, no existía ningún tipo de información documentada al respecto.

En cuanto al levantamiento de información, debido al funcionamiento continuo de la fábrica y no lograr ubicar a los trabajadores por fuera de los horarios laborales, no se lograron realizar entrevistas adecuadas que se pudieran documentar correctamente.

## **2.3. REVISIÓN ENERGÉTICA**

En la planta industrial de EPO Ltda., existen diversas máquinas eléctricas asociadas a los procesos de inyección, soplado y molienda, que necesitan de una buena calidad de potencia eléctrica suministrada (CPE), para su correcto funcionamiento, debido a sus elementos, como motores, variadores de velocidad, entre otros, los cuales pueden afectar la calidad de la energía. Por lo tanto, es necesario hacer un estudio donde se determinen las condiciones iniciales de suministro eléctrico por parte del operador de red y las condiciones finales de la calidad de potencia eléctrica, debido a perturbaciones electromagnéticas que se asocian a diferentes equipos presentes en la planta de procesamiento y de igual manera, determinar las condiciones de calidad de las instalaciones eléctricas presentes en la planta de procesamiento de EPO Ltda., destacando la ausencia de un transformador principal al interior de la empresa y su ubicación en cola de circuito en la red eléctrica.

### **2.3.1. Diagnóstico energético**

A partir de las medidas tomadas en la empresa, que se presentan en la sección 2.2, se realiza un estudio y análisis del levantamiento de esa información, enfocándose en CPE e instalaciones eléctricas, para el caso de la planta de producción de EPO Ltda., destacando los eventos más representativos relacionados con estas 2 temáticas.

#### **2.3.1.1. Instalaciones eléctricas**

Se presentan los resultados del estudio y análisis de los datos obtenidos en el levantamiento de la información de instalaciones eléctricas, de acuerdo a los parámetros establecidos por normas, particularmente del RETIE; presentándose en la siguiente clasificación:

- Conductores y sistemas de protección.

- Sistemas de puesta a tierra.

Además, se encontró que el área de producción no está separada del área administrativa, eléctricamente-, hay un solo medidor para toda la empresa, que recoge los datos del uso y consumo totales.

#### 2.3.1.1.1. Conductores y sistemas de protección

El diámetro de los conductores utilizados en las instalaciones de EPO está contemplado en la Tabla 33, donde se describen las características del conductor asociado a la instalación eléctrica de cada máquina, a fin de determinar si el conductor soporta los requerimientos eléctricos.

Los conductores son marca Centelsa y cumplen con todas las regulaciones estipuladas en el RETIE, además de ser homologada para la transmisión de energía eléctrica en ambientes industriales para niveles de tensión de hasta 600 V. Sus características de fabricación son las siguientes:

- Conductor de cable suave.
- Aislamiento de polietileno, resistente al calor, abrasión y humedad.
- Chaqueta exterior resistente a la llama, abrasión, calor y humedad.

Nota: en el registro realizado no se obtuvieron datos de la corriente asociada a la máquina inyectora San Shun, debido a un problema técnico que sacó de servicio este equipo por más de 4 meses. Adicionalmente, se detectó que en la acometida eléctrica principal existen 2 calibres diferentes en el cableado, uno con una distancia de 40 metros en calibre 1/0 y el otro con una distancia de 10 metros en calibre 2/0 (ver Tabla 33 para consultar el calibre utilizado para acometidas).

Sin embargo, se encontró que en la planta de producción de EPO la acometida eléctrica principal cuenta con cables de diferente calibre 1/0 y 2/0 , partiendo de un menor calibre y finalizando con uno mayor, esto produce desbalance de tensiones afectando EE y el correcto funcionamiento de los equipos.

El sistema de protección de circuitos que dispone EPO Ltda., no se encuentra estandarizado, no existe un tablero de distribución principal como sistema de protección y organización, y las acometidas eléctricas asociadas a cada máquina cuentan sólo con totalizadores o interruptores como única protección.

La información referente a la capacidad de cada totalizador e interruptor asociado a las diferentes máquinas presentes en la empresa, está contenida en la Tabla 33. En cuanto al transformador trifásico de 225 kVA (13200v a 214v-123v), compartido para todo el circuito donde se ubica la planta física de EPO Ltda., ofrece corrientes máximas de acuerdo al voltaje utilizado, por ejemplo: para el caso de un voltaje de 220v la corriente es de 577 A, para el caso de 380v la corriente es de 335 A máximo, estos valores se deben considerar al momento de adquirir nuevos equipos.

Adicionalmente EPO Ltda., cuenta con un totalizador principal termomagnético, de 240 A, para toda la planta industrial como único sistema de protección contra fallas. Cabe resaltar que en la acometida eléctrica del chiller y del compresor, sólo se cuenta con un totalizador de 100 A, compartido por estos 2 equipos.

Las instalaciones eléctricas de la maquinaria se mencionan a continuación teniendo en cuenta la Tabla 33, en la cual están contenidos los valores de corriente mínima y máxima asociada a cada equipo, a fin de determinar si el conductor y la protección son los adecuados.

- **Acometida principal:** tiene cables de diferente calibre, registra corriente promedio de 117,9 A con todos los equipos en funcionamiento, la capacidad del conductor es de 170 A. Parámetro **(deficiente)**.  
Sistema de protección: cuenta con un totalizador termomagnético de 240 A. Parámetro **(aceptable)**.
- **Sopladora Hesta:** capacidad del conductor 30 A, corriente máxima del equipo 22 A.  
Sistema de protección: breaker termomagnético de 100 A. Parámetro **(aceptable)**.
- **Chiller:** capacidad del conductor 30 A, corriente máxima 26,8 A. Parámetro **(aceptable)**.  
Sistema de protección: breaker termomagnético de 100 A. Parámetro **(deficiente)**.
- **Máquina San Shun Servo motor:** capacidad del conductor 75 A, corriente máxima 34,6 A.  
Sistema de protección: breaker termomagnético de 100 A. Parámetro **(aceptable)**.
- **Máquina Chia Ming:** capacidad del conductor de 130 A, corriente máxima en 106,8 A.  
Sistema de protección: breaker termomagnético de 200 A. Parámetro **(aceptable)**.
- **Máquina Bekum:** capacidad del conductor 75 A, corriente máxima 32,6 A.  
Sistema de protección: breaker termomagnético de 100 A. Parámetro **(aceptable)**.
- **Máquina San Shun:** capacidad del conductor 75 A, corriente máxima no registrada.  
Sistema de protección: breaker termomagnético de 100 A. Parámetro **(aceptable)**.
- **Compresor:** capacidad del conductor 30 A, corriente máxima 15,8 A.  
Sistema de protección: breaker de 100 A. Parámetro **(aceptable)**.



- **Molino Grande:** capacidad del conductor 130 A, corriente máxima 61 A.  
Parámetro **(aceptable)**.  
Sistema de protección: breaker de 100 A.  
Parámetro **(deficiente)** breaker manual, sin protección térmica, contrario a lo que recomienda RETIE.
- **Molino pequeño:** capacidad del conductor 30 A, corriente máxima 15,6 A.  
Sistema de protección: breaker termomagnético de 30 A.  
Parámetro **(aceptable)**.

### 2.3.1.1.2. Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra se compone de un conjunto de elementos conductores del sistema eléctrico que permiten conectar a los equipos eléctricos con el suelo, su función es servir de protección contra sobretensiones atmosféricas, limitar perturbaciones electromagnéticas, entre otras. El RETIE exige que los sistemas de puesta a tierra estén conectados entre sí para formar un único sistema. En el caso de la EPO Ltda., no se dispone de ningún SPT, solo existe una única conexión diseñada bajo la configuración de sistema de protección anti-descargas, utilizada para la conexión de la máquina sopladora Bekum, además actualmente ningún equipo esta aterrizado a tierra, con lo cual no se garantiza la seguridad para los equipos y máquinas de la planta que no tengan protecciones individuales.

El hecho que no exista en la planta de producción de EPO Ltda., un SPT en funcionamiento, representa un grave problema de seguridad para los equipos y el personal, según RETIE, todas las instalaciones deben contar con un SPT, salvo casos específicos que no corresponde al actual, con el fin de evitar tensiones de paso, que ante un fallo puedan superar los umbrales admisibles para un ser humano y descargas atmosféricas que afecten los equipos. Se recomienda instalar el sistema bajo las condiciones establecidas en el reglamento RETIE.

### 2.3.1.2. Calidad de potencia eléctrica suministrada

La calidad de onda en tensión y corriente además de los principales fenómenos electromagnéticos se relacionan a continuación, en base a los parámetros establecidos por las normas y reglamentación colombiana vigente. Estos eventos perjudican el funcionamiento de los equipos eléctricos, limitando su desempeño y por consiguiente su EE. Los principales parámetros a tener en cuenta son los siguientes:

- Tensión.
- Corriente.
- Distorsión armónica.
- Factor de potencia.

### 2.3.1.2.1. Tensión

Durante la medición se detectaron fenómenos electromagnéticos asociados a la forma de onda en tensión descritos en el anexo A1 “Guía Especializada, sección 1.1.1” estos se enumeran a continuación.

- **Forma de onda:** Se destaca una onda perfectamente sinusoidal para las líneas A, B, C bajo condiciones iniciales de suministro eléctrico sin presencia de equipos funcionando en la planta de EPO. Esto indica que la distorsión se asociada con los equipos que se encuentran al interior de la planta de producción (ver Figura 86), forma de onda en tensión. Parámetro **(aceptable)** en condiciones de suministro eléctrico por el operador de red.
- **Bajos niveles de tensión:** de acuerdo al nivel tensión mínimo permitido de -10% equivalente 108v y 187v para una tensión nominal de 120v y 208v respectivamente, no se detectaron eventos relacionados con CPE por parte del operador de red en condición inicial de suministro eléctrico, en la figura se puede observar que ante un fallo técnico del chiller, entre el día 3 agosto a las 6:28pm hasta el día 4 de agosto 2:45 pm, que obligo a apagar todos los equipos debido a la necesidad del sistema de refrigeración de agua, se encontró un nivel de tensión estable para las 3 fases, que en ningún momento disminuyo de 122v, esto permite deducir que la mayoría de los fallos están relacionados con las cargas de los equipos presentes en EPO. El arranque de motores grandes como el del sistema de extrusión de la máquina sopladora Chia Ming y el motor del molino grande provocan fuertes caídas de tensión (ver Figura 83), el día 1 agosto a las 11:47 am, con la puesta en marcha de la máquina sopladora, esto conllevo a una caída de tensión de que alcanzo los 105v. Este fenómeno también se presentó el día 4 agosto a las 6:19 pm, con el arranque del molino lo que provoco caídas de tensión a 109,1 y 108,4 en la fase B y C (ver Figura 84). Durante la medición no se encontraron huecos de tensión o (SAGS) con duración comprendida entre 0,0083s a 60s. Parámetro **(deficiente)** bajo condiciones de operación de equipos.
- **Sobretensión:** de acuerdo al nivel máximo permito de +5% de la tensión nominal correspondiente a 127v y 220v se detectaron eventos en condición suministro de CPE inicial por parte del operador de red, como se puede ver en la Figura 83, entre el día 3 agosto a las 6:28 pm hasta el día 4 de agosto 2:45 pm sin equipos en funcionamiento. De acuerdo a las gráficas de la Figura 83 y Figura 84, se presentaron niveles de sobretensión por encima de los 127 voltios como se puede verificar en las tablas adjuntas de las gráficas mencionadas, este fenómeno se asocia a condiciones de suministro eléctrico por parte de operador de red y descargas de banco de capacitores en la red. Parámetro **(deficiente)** bajos condiciones iniciales de suministro eléctrico y operación de equipos.

- **Desbalance de tensiones:** conforme se establece en la normas el desbalance no debe exceder el 2% entre fases y un 5% en la frecuencia, durante la medición se encontraron condiciones ideales de CPE en suministro eléctrico sin presencia de equipos en funcionamiento, como se puede constatar en la Figura 85 (condición 1). En condiciones de operación de la fábrica se registraron desbalance entre fases de hasta 24 grados correspondiente al 20%, como se puede verificar en la Figura 85, esto debido a eventos transitorios de corta duración (condición 2). Respecto a la frecuencia, bajo las 2 condiciones mencionadas, no se presentaron variaciones por debajo de 59 HZ.  
Parámetro **(aceptable)** para condiciones de CPE y **(deficiente)** bajo condiciones de operación de equipos.

#### 2.3.1.2.2. Corriente

Acorde al límite establecido por la normas para un desbalance máximo del 15% entre fases, se puede observar formas de onda en corriente no perfectamente sinusoidales (ver Figura 90), esto debido principalmente a la presencia distorsión armónica en corriente. También se puede apreciar un desbalance máximo del 20.2% en la fase B con respecto a las demás, ver diagramas de tendencias en corriente, (ver Figura 88 y Figura 89), y el desbalance de cargas asociado a la antigüedad de los motores cuyas fases no están compensadas.

En los diagramas de tendencias se puede apreciar la presencia de corriente de neutro, hasta 23 A, provocada por el desequilibrio de las fases y la presencia de armónicos en corriente (ver Figura 88 y Figura 89).

- Parámetro **(deficiente)** en condiciones de operación de equipos

#### 2.3.1.2.3. Distorsión armónica en tensión y corriente

De acuerdo al Método de Distorsión Armónica Total (TDH) en corriente y tensión, se pudo determinar la presencia de armónicos con mayor amplitud para el caso de los impares hasta el 19.

Conforme a los límites establecidos por los normas, se encontraron valores máximos de TDHv en la fase C igual a 2.56% cuyo mayor aporte estuvo representando por los armónicos de orden 3, 5, 7, 9, 11 y 17. Los armónicos en voltaje tuvieron tendencias con amplitudes bajas donde el mayor registro se presentó en la fase C con la mayor amplitud del 5 armónico igual a 2,56% no superior al máximo permitido del 3%, y un THD 2,60% no superior al 5% permitido para estos niveles de tensión (ver Figura 92).

- Parámetro **(aceptable)** en condición de suministro inicial y con funcionamiento de equipos.

Para los armónicos en corriente no se pudo determinar la relación de Corto Circuito SCR (Short Circuit Ratio) definida como la relación entre la corriente de corto circuito máxima y la corriente máxima promedio consumida por el

transformador, necesaria para identificar el rango de valores permitidos en armónicos. La razón por la cual no se tomaron las medidas radica en la ausencia de un transformador interno para la planta de producción de EPO y la dificultad de hallar la corriente máxima promedio que consumen los usuario designados para el transformador de la red eléctrica pública. Se encontraron valores de THDi iguales al 27% valores muy superiores a los límites establecidos la norma (ver Figura 92).

- Parámetro **(deficiente)** en condición de operación de equipos.

#### 2.3.1.2.4. Factor de potencia

El mejoramiento del factor de potencias resulta ser clave para el correcto funcionamiento de los equipo, ante el aumento de la potencia aparente se producen pérdidas en el sistema que se ven reflejadas en un bajo factor de potencia en las mediciones. De acuerdo a la normatividad colombiana, el factor de potencia debe ser superior a 0,9, en base a esta referencia y comparando los datos obtenidas del diagrama de tendencia del factor de potencia (ver Figura 94), se concluye lo siguiente:

- Se obtuvieron medidas con valores negativos aproximados a -0,9 debido a una potencia reactiva negativa y un factor de potencia promedio equivalente al 0,7. Estos valores no son adecuados ya que indican una pobre calidad de potencia eléctrica en la planta de producción de EPO Ltda., que se traduce en aumento de consumos de los energéticos y de las pérdidas.  
Parámetro **(deficiente)** en condición de funcionamiento de equipos.

De acuerdo al valor del factor de potencia obtenido mediante el analizador de red de Dranetz, se deben seleccionar unos porcentajes de pérdidas en varios parámetros, como la corriente, tamaño del conductor, etc., para ello es útil el documento titulado, Corrección del Factor de Potencia y Control de la Demanda, además el factor de potencia puede indicar el tamaño del conductor en que se debe de cambiar para mejorar este factor (ver Figura 98).

**Figura 98.** Efectos del bajo Factor de Potencia en conductores. Fuente: [32].

FACTOR DE POTENCIA, %	CORRIENTE TOTAL, AMPERIOS %	AUMENTO DE LA CORRIENTE, %	TAMAÑO RELATIVO DEL ALAMBRE PARA PÉRDIDA %	AUMENTO EN LAS PÉRDIDAS POR CALENTAMIENTO PARA TAMAÑO ALAMBRE %
100	100	0	100	0
90	111	11	123	23
80	125	25	156	56
70	143	43	204	104
60	167	67	279	179
50	200	100	400	300
40	250	150	625	525

Fuente: U.R.E. Proyecto de Grado del Ing. Miguel Zevallos.

### 2.3.2. Línea de consumo energético

A partir de la línea de consumo energético se puede determinar el comportamiento energético de áreas, procesos, equipos, etc., de la empresa EPO Ltda., para el seguimiento y control de los factores más importante que pueden influir en el desempeño energético. Se utiliza la información de consumo energético (sección 2.2.3.11) y la información de producción, dentro de los 17 meses que se registró la información del consumo energético se presentó el daño de la maquina inyectora San Shun, trabajo que tuvo que ser reemplazado por la maquina inyectora con servomotor, lo que provocó el aumento de tiempos de trabajo para este equipo. Este inconveniente se destaca ante el comportamiento que pueda desencadenar en la línea de consumo energético.

Entonces, se determina la relación existente entre el consumo de energía y la producción de empaques plásticos, en este caso no se discriminan consumos específicos relacionados a procesos o equipos, por el contrario se toman consumos generales para relacionarlos con toda la producción (ver Ecuación 17).

**Ecuación 17.** Ecuación índice consumo energético. Fuente: propia, agosto de 2016.

$$\text{Índice de consumo energético} = \frac{\text{Consumo de un energético}}{\text{Unidad de producción}}$$

Tomando como ejemplo los datos del mes de enero se encuentra que el índice de consumo energético para ese mes es de 2,11 kWh/Ton, y así se hace con el resto de datos obtenidos en el levantamiento de la información (ver Ecuación 18).

**Ecuación 18.** Aplicación de la ecuación del índice de consumo energético. Fuente: propia, agosto de 2016.

$$\text{Índice de consumo energético}_{mes} = \frac{8040}{3,8} = 2,11 \text{ kWh/Ton}_{mes}$$

$$\text{Índice de consumo energético}_{mes} = 2,11 \text{ kWh/Ton}_{mes}$$

La ecuación del índice de consumo energético se puede aplicar a diferentes energéticos. El energético que se utiliza es la electricidad, los datos necesarios son los del consumo de energía eléctrica y unidades de producción, en un intervalo definido de tiempo, en este caso es el mes (ver Tabla 42).

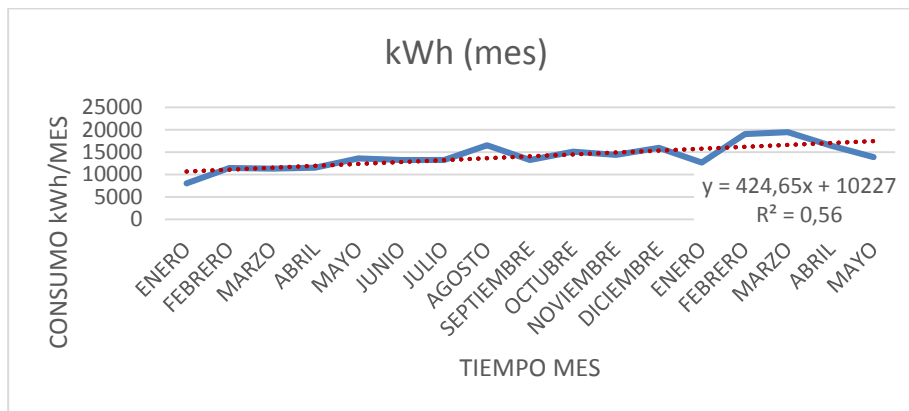
**Tabla 42.** Índices de consumo energético por unidad de producción. Fuente: propia, agosto de 2016.

Año	Mes	Consumo de energía kWh(mes)	Unidad de producción (toneladas por mes)	Índice de consumo energético kW(mes)/tonelada
2015	ENERO	8040	3,8	2,11
	FEBRERO	11460	5,6	2,046
	MARZO	11280	5,5	2,05

	ABRIL	11520	5,5	2,094
	MAYO	13560	6,5	2,08
	JUNIO	13230	6,4	2,067
	JULIO	13230	6,5	2,03
	AGOSTO	16500	8,1	2,03
	SEPTIEMBRE	13220	6,3	2,09
	OCTUBRE	15067	7,7	1,956
	NOVIEMBRE	14340	7,2	1,99
	DICIEMBRE	15960	8	1,99
2016	ENERO	12660	5,7	2,221
	FEBRERO	19020	10	1,902
	MARZO	19440	10	1,94
	ABRIL	16440	8,2	2
	MAYO	13860	6,6	1,98
<b>PROMEDIO</b>		<b>13117</b>	<b>7,11</b>	<b>2,03</b>

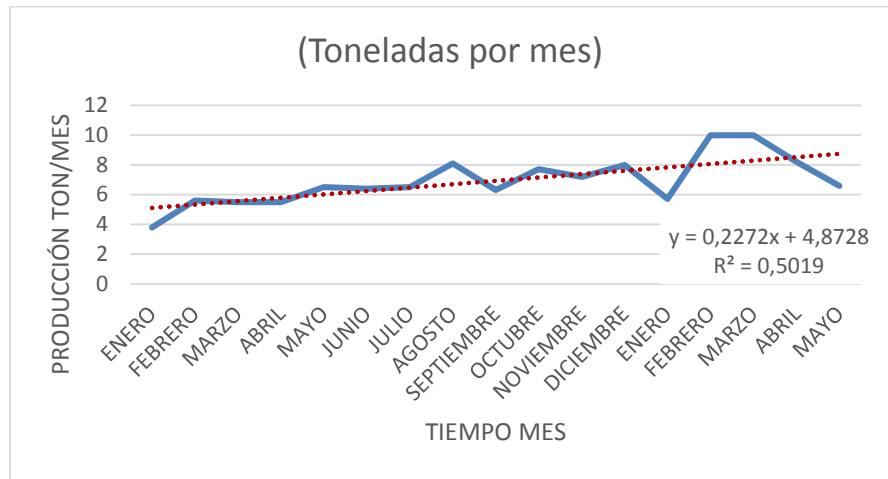
Al graficar los datos de consumo energético contra el tiempo, se obtiene una gráfica del comportamiento de la demanda de energía utilizada por la empresa, que en este caso es la energía eléctrica (ver Figura 99).

**Figura 99.** Comportamiento demanda energía eléctrica. Fuente: propia, agosto de 2016.



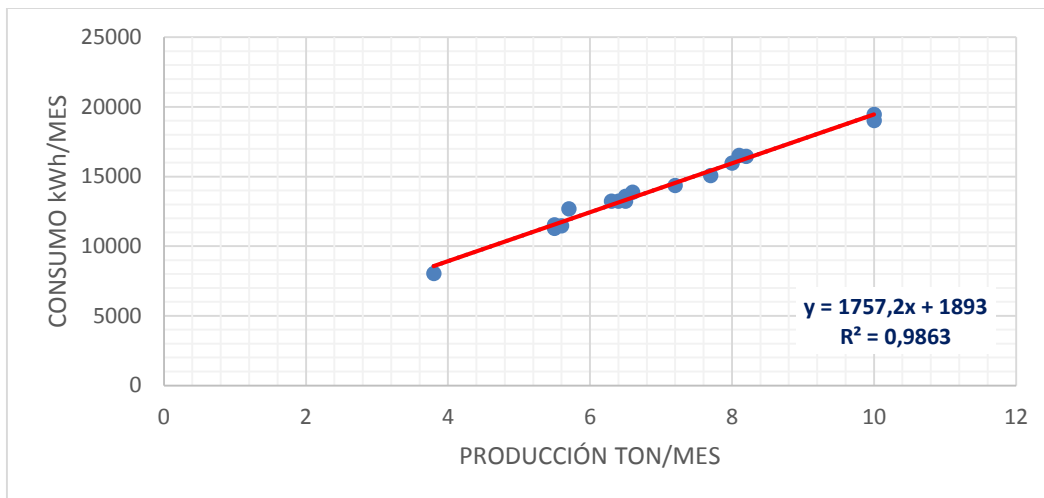
Los datos de producción se grafican para generar una gráfica del comportamiento que tiene la producción durante intervalos definidos de tiempo en la empresa EPO Ltda., se escoge el mes como periodo de tiempo, ya que los datos del consumo energético están determinados por mes (ver Figura 100).

**Figura 100.** Comportamiento producción de EPO. Fuente: propia, agosto de 2016.



Se observa que las dos graficas anteriores, de consumo energético y de producción, son parecidas, por lo que debe de existir una relación entre ellas. Graficando el consumo de energía eléctrica contra la producción de la empresa, tomando periodos mensuales se obtiene un gráfico de dispersión, con el cual se puede conocer el comportamiento del consumo de la electricidad frente la producción (ver Figura 101).

**Figura 101.** Comportamiento del consumo de energía eléctrica vs producción. Fuente: propia, agosto de 2016.



### 2.3.3. Indicadores energéticos

Los IDE se establecen con el fin de hacer un seguimiento, monitorear los procesos y controlar el desempeño energético. En la industria del plástico el factor energético asociado a costos es determinante, por lo tanto identificar los puntos críticos de mayor consumo e implementar planes de acción basados en prácticas de EE puede conllevar a la mejora de los procesos, optimizando el uso de los recursos [29].

Para identificar los focos de mayor consumo, se sectorizaron las mediciones en cada máquina disponible en la planta de producción de EPO Ltda., dichas mediciones se complementaron realizando el estudio de calidad de potencia eléctrica y la instalación de medidores trifásicos por un tiempo estimado de 2 días por máquina (ver Figura 102).

Como resultado del estudio y análisis de las mediciones, se establecieron los siguientes IE (ver Anexo 3, Indicadores energéticos e indicadores de desempeño energético):

- **IE de nivel 2:** llamado “producción/consumo energético”, relaciona la cantidad de producto procesado en kilogramos sobre los kilovatios que implicó dicha transformación de la materia prima en el producto final.
- **IE de nivel 3:** llamado “consumo específico para polímeros amorfos semi-cristalinos”, este indicador es específico para la industria del plástico y sus procesos de transformación de polímeros. Para este caso de estudio EPO Ltda., cuenta con los procesos de extrusión-soplado y extrusión-inyección, que en base a este identificador le permitirán evaluarse con los estándares actuales de mejor desempeño energético. La referencia en consumo energético es la siguiente:

$$IE(pa) \text{ consumo aproximado entre } 0,20 \text{ y } 0,25 \text{ kWh/kg}$$

- **pa:** polímeros amorfos.

**Figura 102.** Instalación de medidores para cálculo de indicadores energéticos específicos en cada proceso. Fuente: propia, agosto 2016.



Proceso extrusión-inyección: el consumo energético promedio obtenido para un periodo de 48 horas continuas de trabajo en la fabricación de tapas de 38 milímetros para envases de lácteos, utilizando la máquina San Shun con servomotor de alta eficiencia se muestran a continuación (para complementar esta información consulte las características del producto y tiempos de fabricación en la Tabla 18, la Tabla 19 y la Tabla 20):



$$IE(pa) = (6,0 \text{ kWh}/8,64 \text{ kg}) \text{ equivalente a } 0,69 \text{ kWh/kg}$$

Proceso de extrusión-soplado: el consumo promedio obtenido para 48 horas continuas de trabajo en la fabricación de envases para lácteos de capacidad para 1 litro, utilizando la máquina sopladora Chia Ming, es el siguiente (consultar la Tabla 18, la Tabla 19 y la Tabla 20, para complementar información de tiempos de fabricación y características de producto):

$$IE(pa) = (7,9 \text{ kWh}/4,581 \text{ kg}) \text{ equivalente a } 1,958 \text{ kWh/kg}$$

Para el caso de la sopladora Bekum se realizaron las mediciones de consumos energéticos en los mismos tiempos establecidos para los casos anteriores, esta vez se fabricaron envases para lácteos con capacidad para 220 ml. El resultado de las mediciones y el IE asociado es el siguiente (consultar la Tabla 18, la Tabla 19 y la Tabla 20, para complementar información de tiempos de fabricación y características del producto):

$$IE(pa) = (8,12 \text{ kWh}/4,581 \text{ kg}) \text{ equivalente a } 1,772 \text{ kWh/kg}$$

Para la máquina sopladora Hesta se siguió el mismo procedimiento establecido, en este caso se fabricaron envases para lácteos con capacidad para 220 ml, que arrojó los siguientes resultados (consultar la Tabla 18, la Tabla 19 y la Tabla 20, para complementar la información del producto):

$$IE(pa) = (5,9 \text{ kWh}/3,876 \text{ kg}) \text{ equivalente a } 1,522 \text{ kWh/kg}$$

#### 2.3.4. Listado de acciones

Este listado de acciones surge del estudio y análisis anterior, es el fin de realizar todos los procesos, procedimientos y actividades anteriores a esta sección, luego es correcto entender estas acciones como recomendaciones para generar EE en el área específica.

**Tabla 43.** Listado de acciones sugeridas. Fuente: propia, agosto de 2016.

ENFOQUE	SUGERENCIAS
Equipo sección 2.1.1.1	Instalar un sistema de calefacción inductivos con aislamiento térmico, que limite las pérdidas por transferencia de calor, consultar (monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad). Instalar filtros activos para suprimir presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica).
Equipo sección 2.1.1.5	Revisar el estado de la bomba, porque presenta movimientos bruscos, a fin de considerar el rebobinado o reemplazarlo por un motor de alta eficiencia (consultar guía especializada A1, sección 1.2.3.1 motores de alta eficiencia).
Equipo sección 2.1.1.3	Cambiar el motor del sistema extrusor por uno de alta eficiencia en conjunto con un sistema de arranque suave, consultar (guía especializada A1, sección 1.2.3.1 motores de alta eficiencia). Instalar un sistema de calefacción inductivo con aislamiento térmico que limite las pérdidas por transferencia de calor, consultar (monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad). Instalar filtros para suprimir la presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica). Incorporar un variador de velocidad en conjunto con un sistema de control para el sistema hidráulico, con el fin de limitar el consumo energético en el momento de

	<p>carga mínima o vacía (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.1 variadores de velocidad).</p> <p>Cambiar correas en mal estado por correas de alta eficiencia (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.4 reducción de las pérdidas por transmisión mecánica).</p>
Equipo sección 2.1.1.4	<p>Automatizar por completo la máquina, a fin de incorporar un PLC en conjunto con un sistema de control de soplado.</p> <p>Cambiar el motor del sistema extrusor por uno de alta eficiencia e instalar un variador de velocidad (consultar guía especializada A1, sección 1.2.3.1 motores de alta eficiencia)</p> <p>Instalar un sistema de calefacción inductivo con aislamiento térmico que limite las pérdidas por transferencia de calor (consultar monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad)</p> <p>Instalar filtros para activos para suprimir la presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica)</p> <p>Incorporar un variador de velocidad en conjunto con un sistema de control para el sistema de hidráulico, con el fin de limitar el consumo de energía en momento de carga mínima o vacía (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.1 variadores de velocidad).</p> <p>Reemplazar correas en mal estado por correas de alta eficiencia (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.4 reducción de las pérdidas por transmisión mecánica).</p>
Equipo sección 2.1.1.2	<p>Instalar un sistema de calefacción inductivo con aislamiento térmico que limite las pérdidas por transferencia de calor (consultar monografía, sección 1.3.2.3 parámetros de EE y productividad).</p> <p>Instalar filtros para suprimir la presencia de armónicos (consultar guía especializada A1, sección 1.1.1.3 distorsión armónica).</p>
Equipo sección 2.1.1.7	<p>Mantener afiladas las cuchillas para aumentar el rendimiento de la trituración.</p> <p>Reemplazar correas en mal estado por correas de alta eficiencia (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.4 reducción de las pérdidas por transmisión mecánica).</p>
Equipo sección 2.1.1.8	<p>Revisar el estado de los ductos, mangueras, etc., evitando obstrucciones que impiden al aire circular por toda la planta.</p> <p>Reemplazar correas en mal estado por correas de alta eficiencia (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.4 reducción de las pérdidas por transmisión mecánica).</p>
Equipo sección 2.1.1.9	<p>Revisar el estado de mangueras, válvulas, llaves de paso, etc., evitando sitios obstruidos que impiden al agua circular por toda la planta.</p> <p>Incluir asesoría de personal experto en sistemas de aire y sistemas de refrigeración.</p>
Equipo sección 2.1.1.6	<p>Mantener afiladas las cuchillas para aumentar el rendimiento de la trituración.</p> <p>Reemplazar correas en mal estado por correas de alta eficiencia (consultar guía especializada A1, sección 1.2.4.4 reducción de las pérdidas por transmisión mecánica).</p>
Equipo sección 2.1.1.10	<p>Cambiar el conjunto de luces fluorescentes ahorradoras, por luces led de alta EE.</p>
Equipos sección 2.1.1.1 hasta 2.1.1.5	<p>Instalar un sistema automático de rebabado en las máquinas mencionadas, que cuentan con esta opción de periférico.</p> <p>Para los productos de mayor fabricación adquirir moldes de dos cavidades para duplicar la producción y limitar costos de operación.</p> <p>Instalar una cinta transportadora que lleve el empaque sin rebabas, esto con el fin de disminuir tiempos de operación y limitar la función del operario al embalaje.</p>
Producción de las máquinas	<p>Realizar pruebas de rendimiento con máquinas en capacidades similares, a fin de determinar mejoras en tiempos de producción y aumento de rendimiento de la EE.</p>

## 2.4. LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA

Se parte del diagrama de dispersión, a partir de ello se realiza un análisis más profundo para determinar elementos más significativos, por ejemplo:

- **Modelo de variación del consumo vs producción:** de la forma  $E=m*P+E_0$  ( $y = 1757,2x + 1893$ ).
- **Grado de dependencia del consumo de energía con la producción:** lo da el valor del coeficiente de correlación ( $R^2 = 0,9863$ ).
- **Carga base de consumo/energía no asociada a la producción:** es el intercepto de la línea con el eje  $y$  de la Figura 101,  $E_0$  (1893).
- **Mínimo índice de consumo alcanzado en el proceso:** representado por el valor de la pendiente de la línea  $m$  ( $y/x = 1757,2$ ).
- **Predicción del consumo de energía para nuevos valores de producción:** con la ecuación del modelo de variación del consumo vs producción.
- **Nivel de incertidumbre del consumo de energía para una producción dada:** este nivel de incertidumbre es igual al valor de la desviación estándar de los datos reales de la muestra respecto a la línea de ajuste.
- **Potencial de ahorro por reducción de la variabilidad operacional del consumo de energía:** es posible determinar este potencial de ahorro al trazar otra línea de ajuste del consumo vs producción o variable significativa, y obtener una ecuación modelo que represente esa línea, sin embargo pueden haber casos en que se puede no tener una variable significativa del consumo de energía.

## 2.5. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Se presentan los indicadores que podrían ser IDE, sin embargo, se debería de realizar el procedimiento según lo establecido en la norma NTC-ISO 5001, pero para el ejercicio de la aplicación es suficiente con los IE.

**Tabla 44.** Principales indicadores energéticos. Fuente: propia, octubre de 2016.

PROCESO/EQUIPO	INDICADOR ENERGÉTICO
Índice de consumo energético.	$\frac{\text{Consumo de energético}}{\text{Unidad de producción}}$
Proceso extrusión-inyección máquina San Shun.	$IE(pa) = 0,690 \text{ kWh/kg}$
Proceso extrusión-soplado máquina Chia Ming.	$IE(pa) = 1,958 \text{ kWh/kg}$
Máquina sopladora Bekum.	$IE(pa) = 1,772 \text{ kWh/kg}$
Máquina sopladora Hesta.	$IE(pa) = 1,522 \text{ kWh/kg}$

## 2.6. PLANES DE ACCIÓN

Los planes de acción deben ser establecidos con el fin de cumplir los objetivos y metas energéticas de la organización, para este caso es EPO Ltda., debido a que se desconoce las políticas energéticas de la empresa y a la falta de objetivos y metas energéticas, no es posible generar unos planes de acción adecuados o que cumplan con lo establecido en NTC-ISO 50001, sin embargo el listado de acciones es una buena aproximación a estos y pueden generar grandes beneficios al industrial si decide aplicar las recomendaciones/acciones propuestas.

A continuación, se presentan las acciones que podrían ser parte de los planes de acción, sin embargo en la sección de listado de acciones (ver sección 2.3.4) se presenta un listado bastante completo y en la guía del anexo A1 se presentan unas recomendaciones que se pueden utilizar como insumo para los planes de acción.

**Tabla 45.** Planes de acción dirigidos instalaciones eléctricas y calidad de la energía.  
Fuente: propia, octubre de 2016.

Acometida principal (sección 2.3.1.1.1)	Utilizar un solo calibre en la acometida eléctrica principal, instalar un sistema de protección de corriente y de temperatura para equipos seleccionados.
Sistema de puesta a tierra (sección 2.3.1.1.2)	Instalar sistema de puesta a tierra para toda la planta de producción conforme a las especificaciones de RETIE.
Bajos niveles de tensión (sección 2.3.1.2.1)	Reubicación del banco de capacitores al inicio de la instalación eléctrica, instalar arrancadores suaves en motores de más de 10 HP.
Sobretensión (sección 2.3.1.2.1)	Verificación de capacidad de banco de capacitores.
Desbalance de tensiones (sección 2.3.1.2.1)	Sustituir cables de diferente calibre en la instalación eléctrica, compensar cargas asociadas a resistencias monofásicas para el sistema de calefacción de las máquinas.
Corriente (sección 2.3.1.2.2)	Compensar y reorganizar las cargas, evaluar el estado de los motores a fin de encontrar el desbalance que existe entre sus fases, consultar “Guía especializada EE1”, sección 1.1.2, “Mantenimiento preventivo centrado en EE”, instalar arrancadores suaves para motores de más de 10 HP, e instalar sistema de puesta a tierra en todos los equipos.
Factor de potencia (sección 2.3.1.2.4)	Reubicar y redimensionar el banco de capacitores al inicio la acometida eléctrica a fin de compensar el efecto producido por todos los equipos limitando las pérdidas.

### 3. ANEXO 3: INDICADORES ENERGÉTICOS E INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Se presenta un material procesado, a partir del cual se pueden obtener IE enfocados a la generación de indicadores de desempeño energético que cumplan con ISO 50001.

#### 3.1. IDENTIFICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Estos son una herramienta fundamental, que permite analizar la interacción entre la actividad humana y el consumo de energía asociado a un proceso/actividad. Deben ser comparados con la Línea de Base Energética, para determinar el comportamiento en términos de consumo energético. Los IDEs deben suministrar información sobre tendencias en el historial de consumo, por lo tanto, priorizarlos es una tarea que se debe realizar por un experto, cuya experiencia le permita enfocarse en los puntos críticos de consumo energético, a fin de determinar las variables específicas de cada proceso o equipo, que inciden drásticamente en su consumo de energía y en la organización.

La AIE [34], utiliza el término indicador de EE para hacer referencia al IDE. Cabe resaltar, que estos indicadores pueden mostrar un potencial en la reducción del consumo energético, siempre y cuando se establezcan metodologías que permiten romper la brecha entre ese potencial de ahorro y el nivel de EE en las organizaciones, destacando, que cambios tecnológicos que producen mejoras en el consumo energético pueden ser neutralizadas por malos hábitos y prácticas, en el momento de su utilización.

##### 3.1.1. IDE e IE para la industria

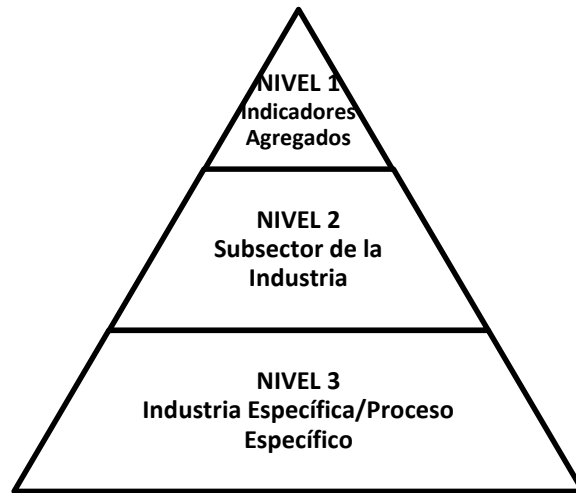
Generalizar un indicador, que contemple toda la información necesaria para evaluar la EE en la industria es complejo, debido a la diversidad de perfiles de consumo presentes en cada sector industrial, la dificultad que representa la medición de la calidad de los combustibles y el aporte energético de las diferentes fuentes de energía en un mismo proceso. Esto implica un análisis detallado de la información, que permita determinar puntos críticos de procesos y/o equipos, donde se presentan pérdidas e ineficiencia, de tal manera, que los indicadores puedan aportar información del comportamiento energético de estos procesos y equipos, con el fin de conocer ahorros potenciales de energía.

La AIE propone unos indicadores clasificados jerárquicamente en tres niveles principales y uno adicional: nivel 1 indicadores agregados, nivel 2 indicadores por sub-sectores industriales y nivel 3 indicadores de industria específica/proceso tecnológico específico (ver Figura 103) [34]. A continuación se hace una descripción de estos niveles:

1. **Nivel 1:** son los indicadores que hacen referencia a la cantidad de energía necesaria para producir una unidad de producción económica, este indicador no es el más adecuado para evaluar la EE en la industria, debido a que se ve

influenciado por múltiples factores no energéticos como: los económicos (políticas económicas), condiciones ambientales y organizacionales, entre otras [34].

**Figura 103.** Clasificación de indicadores energéticos industriales por niveles, según la AIE. Fuente: [34].



2. **Nivel 2:** estos indicadores están asociados al consumo energético vs unidad de producción, donde el nivel de desagregación de la información depende de la complejidad de conseguir información que permita comparar y evaluar el consumo energético de un sector específico de la industria, en términos de empresa a empresa y proceso a proceso (ver Figura 104) [34].
3. **Nivel 3:** son los indicadores para una industria específica y/o unos procesos tecnológicos específicos, que corresponden a indicadores de EE específicos a cada industria, por ejemplo: la industria del plástico, siderurgia, el cemento, entre otros; a las cuales se le ha hecho un seguimiento histórico para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo, en términos de producción vs consumo energético, para consolidar estadísticas a nivel global [34].
4. **Nivel 4:** son unos indicadores complementarios, para explicar cambios en el consumo energéticos de la industria; estos sirven de apoyo para los 3 niveles de la pirámide de la AIE, permitiendo mejorar la EE mediante la gestión de procesos y hábitos de uso, que se emplean en la industria, incluyendo cambios organizacionales. Lo complejo radica en determinar el ahorro energético que se produce mediante la optimización organizacional y técnica de cada proceso de la industria, ya que esos cambios son muy específicos para cada sector y en particular, para cada empresa. Estos indicadores deben cumplir con una información complementaria e indicadores complementarios (ver Figura 105) [34].

**Figura 104.** Tabla de características de indicadores energéticos de nivel 2. Fuente: [34].

Indicador	Información necesaria	Propósito	Limitaciones
<b>Consumo energético de sub-sector industrial basado en unidad de valor añadido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo energético por sub-sector industrial.</li> <li>Correspondiente valor añadido (en misma moneda)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indica la relación general entre consumo energético y desarrollo económico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede ocultar algunos cambios estructurales importantes en la industria (estos impactos pueden en cierto modo ser compensados utilizando información más detallada de la energía y del valor añadido)</li> <li>El valor añadido es influenciado por una variedad de efectos independientes de los cambios en la producción física.</li> </ul>
<b>Consumo energético de sub-sector industrial basado en unidad de producción física</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo energético por sub-sector industrial.</li> <li>Correspondiente unidad física de producción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indica la relación entre consumo energético y la producción física. A menudo llamado consumo "específico" o de "unidad energética".</li> <li>A un nivel desagregado, puede facilitar mejores medidas de eficiencia energética de un proceso de producción particular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No es posible comparar indicadores definidos en diferentes unidades.</li> <li>No provee una imagen agregada de eficiencia energética para la totalidad de la industria.</li> </ul>

**Figura 105.** Tabla de información adicional para indicadores de nivel 4. Fuente: [34]

Políticas e índices típicos del nivel 4	Necesidad de información complementaria	Indicadores complementarios
<b>Estándares mínimos de eficiencia energética (EMEE) para equipos de proceso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Entrada de energía / salida de energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stock de equipos y datos de venta.</li> <li>Coste-beneficio de las políticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad y tipo de equipamiento, utilización y demanda asociada de energía.</li> <li>Antigüedad del equipo.</li> </ul>
<b>Gestión energética y benchmarking</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ahorro de energía</li> <li>Intensidad energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación del contexto industrial.</li> <li>Alcance definido para el programa, ya sea para grandes empresas o para pequeñas y medianas empresas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rendimientos energéticos pre y post cambios.</li> <li>Valores de la inversión y períodos de retorno.</li> <li>Rendimiento energético ex-ante.</li> </ul>

## REFERENCIAS DE ANEXOS

- [1] J. C. Campos Avella, O. Prias. Proyecto URE, Tecnologías de diagnósticos energéticos, Fuerza motriz.
- [2] J. C. Campos Avella, O. Prias, Grupo de investigación GEIN, KAI, "Corrección del factor de potencia y control de la demanda", UPME, Colciencias.
- [3] J. C. Campos Avella, E. Lora Figueroa, K. Álvarez Garcés. Manual de Mantenimiento Centrado en la Eficiencia Energética para Empresas Industriales. ISBN 978-958-8123-66-0. Universidad del Atlántico, Barranquilla, 2009.
- [4] J., Cancela, M. II Congreso eficiencia energética eléctrica. Eficiencia energética en motores eléctricos. 2012.
- [5] CNEE, "Programa integral de Asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica de Guatemala", 2010.
- [6] P. Contet and U. Konig, "Guide to resource efficiency in manufacturing," p. 32, 2012.
- [7] C. A. Erazo Pino and C. A. Sánchez Belalcázar, "Diseño de un Proceso de Obtención de Alimento para Peces a Nivel Industrial en el Marco del Proyecto de Regalías ID VRI 3883 – SGR," Universidad del Cauca, 2015.
- [8] EUROMAP (Technical Commission).EUROMAP 60: Injection Moulding Machines. Determination of Specific Machine Related Energy Consumption. 2.0. 2009.
- [9] L. Fernando, M. Peñalba, and J. A. Cardona, Gestión Energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad.
- [10] Ferreria J.T.E, Optimization of Industrial Motor Driven Systems, University of Coimbra & Institute of Systems and Robotics, 2016.
- [11] J Grajales, J Ramírez, D Cadavid, Efectos de los armónicos en los motores de inducción: Una revisión, Universidad de Antioquia, 2003.
- [12] IEC, "Standard IEC60364, Electrical installations of Buildings," International Electrotechnical Commission Geneva, Switzerland, 2001.
- [13] IEEE, Duffey, C. K., & Stratford, R. P. Update of harmonic standard IEEE-519: IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electric power systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 25(6), 1025-1034. 1989.



- [14] Institute of Electrical Electronics Engineers IEEE, IEEE Std. 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plan, Publishing by IEEE, Inc, USA, 1994.
- [15] International Electrotechnical Commission IEC, International Standard IEC 61000-4-27, Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-27: Testing and Measurement Techniques – Unbalance, Immunity Test, Publishing by IEC, Geneva, Switzerland, 2000.
- [16] S.-M. Lu, A review of high-efficiency motors: Specification, policy, and technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1–12. 2016. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.360>.
- [17] E. Martínez Narváez, “Propuesta de Escalamiento Industrial del Proceso de Extrusión para Películas Biodegradables bajo el marco del proyecto ‘Investigación y Desarrollo de Empaques Biodegradables,’” Universidad del Cauca, 2015.
- [18] National Electrical Manufacturers Association NEMA, Standard Publication ANSI/NEMA MG1-2003, Motors and Generators, Revision 1-2004, Publishing by NEMA, Rosslyn, USA, 21, 2003.
- [19] E. Quispe, Efectos del desequilibrio de tensiones sobre la operación del motor de inducción trifásico. Universidad del Valle. 2012.
- [20] E. Quispe, and R. Castrillón. Informe Final Proyecto de Investigación SOFTWARE DE AHORRO DE ENERGIA CON MOTORES ELECTRICOS. Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. 2007.
- [21] E. Quispe, and L. F. Mantilla, “Motores eléctricos de alta eficiencia: características electromecánicas, ventajas y aplicabilidad”, 2004.
- [22] RETIE, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. "Ministerio de minas y Energía.", 2005.
- [23] A. Rodríguez Hernández, Arranque Autónomo en el Sistema Nacional Interconectado: Propuesta de Reglamentación. Comisión de Regulación de Energía y Gas. Bogotá. 2010.
- [24] Schneider Electric, “Eficiencia energética: manual de soluciones”. 2010.
- [25] J.C AVella, O. Prias, Grupo Kein, G. Ka. (n.d.). Eficiencia energética en motores electricos. UPME, Colciencias.
- [26] J. C. Campos Avella, and O. F. Prías Caicedo, Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía, Guía con base en la norma ISO 50001, Sistema de Gestión Integral de la Energía, Primera Ed. Bogotá, 2013.

- [27] C. A. Erazo Pino and C. A. Sánchez Belalcázar, "Diseño de un Proceso de Obtención de Alimento para Peces a Nivel Industrial en el Marco del Proyecto de Regalías ID VRI 3883 – SGR," Universidad del Cauca, 2015.
- [28] ICONTEC, "NTC 1340: Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público," 2013.
- [29] International Energy Agency, "Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas," 2016.
- [30] E. Quispe, "Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos," Curso Tutorial XII CONEIMERA, Octubre de 2005.
- [31] RETIE, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. "Ministerio de minas y Energía," 2005.
- [32] U. del Atlántico and U. Autónoma de Occidente, "Corrección del factor de potencia y control de la demanda," UPME, 2008.
- [33] G. A. Saavedra, A Sandoval, "Análisis y diagnóstico de la calidad energética en el CENTIC", U. Industrial de Santander, 2009.
- [34] International Energy Agency, Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas, 2016.