MODELO MATEMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO EN FUNCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA MIPYME ASEOPLAST JLH

ANDRÉS FELIPE PRIETO AMADO

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ COLOMBIA
2016

MODELO MATEMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO EN FUNCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA MIPYME ASEOPLAST JLH

ANDRÉS FELIPE PRIETO AMADO

Auxiliar de Proyecto de Investigación como modalidad de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial

Ingeniero Johan Alexander Rincón Gualdron

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ COLOMBIA
2016

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma Jurado

A MI FAMILIA

Agradecimiento

A la Universidad Cooperativa de Colombia – Sede Bogotá, la Facultad de Ingeniería y el programa de Ingeniería Industrial, a la organización Aseo Plast JLH por el suministro de datos, al director de la Investigación y aquellos involucrados activamente en el desarrollo de las actividades aquí desarrolladas.

CONTENIDO

pág.

LISTA DE TABLAS 7

LISTA DE FIGURAS 9

LISTA DE ECUACIONES 11

LISTA DE FOTOGRAFÍAS 12

LISTA DE ANEXOS 14

GLOSARIO 15

RESUMEN 19

INTRODUCCIÓN 20

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 24

1.1. ANTECEDENTES 24

1.1.1. Planes Energéticos Nacionales 24

1.1.2. Leyes y políticas 27

1.1.3. Convenios, Guías ambientales y metodológicas – Sector Plásticos 28

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN 32

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN 33

1.4. JUSTIFICACIÓN 34

1.5. OBJETIVOS 35

1.5.1. General 35

1.5.2. Específicos 35

1.5.3. Metodología 36

2. MARCO REFERENCIAL 37

2.1. PROGRAMACIÓN LINEAL 37

2.1.1. Formulación General 38

2.1.2. Teoremas fundamentales 39

2.2. ADMINISTRACIÓN ENERGÉTICA 39

2.2.1. Eficiencia energética 40
2.2.2. Indicadores de Eficiencia Energética 40
2.2.3. Parámetros energía 43
2.3. TECNOLOGÍA DEL MOLDEO POR INYECCIÓN 46
2.3.1. Máquina de moldeo por inyección 46
2.3.2. Molde de Inyección 48
2.3.3. Ciclo de Inyección 48
2.3.3.1. Fase de Cierre 49
2.3.3.2. Fase de Inyección 50
2.3.3.3. Fase de Sostenimiento 51
2.3.3.4. Fase de Plastificación 51
2.3.3.5. Fase de Enfriamiento 54
2.3.3.6. Fase de Expulsión 55
2.3.4. Uso energético en el moldeo por inyección 55
2.3.5. Ciclo energético de Inyección 57
3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL SISTEMA PRODUCTIVO 58
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS 59
3.1.1. Perfil administrativo 59
3.1.2. Cultura Organizacional 59
3.1.3. Desempeño Financiero 60
3.1.4. Estrategia Comercial 60
3.1.5. Nivel Tecnológico de la Industria 60
3.1.6. Desempeño Ambiental y Ocupacional 61
3.1.7. Descripción Energética 62
3.1.7.1. Gestión y comportamiento energético 62
3.1.7.2. Instalación 64
3.1.7.3. Maquinaria 65

3.1.8. Descripción Productiva 68
3.1.8.1. Plan de Producción 68
3.1.8.2. Línea de Producción Económica 69
3.1.8.3. Diagrama de Flujo - Línea de Producción económica 70
3.1.8.4. Materia Prima 76
3.2. VARIABLES SISTEMA PRODUCTIVO 81
3.2.1. Variables Productivas 82
3.2.1.1. Materia Prima - Polímeros 82
3.2.1.2. Materia Prima - Colorantes 82
3.2.1.3. Maquinaria 83
3.2.1.4. Mano de Obra 84
3.2.2. Variables Energéticas 85
3.3. METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN Y REGISTRO EN PARALELO - MORP 87
3.3.1. Nivel 1 Identificación y caracterización 88
3.3.1.1. Componentes Energéticos 88
3.3.1.2. Eventos de Producción – EP 89
3.3.2. Nivel 2 Medios Tecnológicos y Formatos productivos 96
3.3.2.1. Analizador Eléctrico Multifunción 96
3.3.2.2. Formato de Observación y Registro Sistema Productivo 97
3.3.3. Nivel 3 Observación y registro 99
3.4. METODOLOGÍA INTEGRADA PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN - MIAI 101
3.4.1. Sesiones de Observación y Registro – SOR 102
3.4.2. Escenarios Energéticos de Producción - EEP 102
3.4.3. Análisis de la Información 104
3.4.3.1. Líneas de Análisis Energético 104
3.4.3.2. Análisis Correlacional 119
4. MODELO DE OPTIMIZACIÓN EN FUNCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO 121

4.1. DESCRIPCIÓN OPERACIONAL 122
4.2. DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA 124
4.2.1. Modelo 126
4.2.2. Función Objetivo 126
4.2.3. Restricciones 127
4.2.3.1. Demanda 127
4.2.3.2. Capacidad 127
4.2.3.3. Materia Prima 128
4.2.3.4. Energía 129
4.3. ANÁLISIS DE COSTOS 130
4.3.1. Materia Prima 130
4.3.2. Mano de Obra 131
4.3.3. Energía 132
4.3.4. Oportunidad 132
4.4. ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN 134
4.4.1. Resultados del Modelo de Programación matemática 135
4.4.2. Análisis de Resultados 137
5. CONCLUSIONES 139
6. RECOMENDACIONES 141
7. BIBLIOGRAFÍA 142
8. ANEXOS 148

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Planes Energéticos Nacionales 1994 - 2015 25
Tabla 2. Indicadores de eficiencia energética aproximación Físico-Termodinámica 43
Tabla 3. Parámetros Energéticos 44
Tabla 4. Unidades de Venta productos manufacturados 60
Tabla 5. Especificaciones Maquinas de Moldeo por Inyección 66
Tabla 6. Especificaciones Molino eléctrico pulverizador de plástico 67
Tabla 7. Características Productivas Dispositivo de Mezcla y Pigmentación 74
Tabla 8. Propiedades Resinas Plásticas 77
Tabla 9. Condiciones de polímeros reciclados 79
Tabla 10. Parámetros productivos en factores de producción 81
Tabla 11. Variables Materia prima - Polímeros 82
Tabla 12. Variables materia prima – Pigmentos 82
Tabla 13. Variables Productivas – Maquinaria 83
Tabla 14. Variables Moldes de Inyección 84
Tabla 15. Variables Productivas – Mano de Obra 84
Tabla 16. Variables energéticas medidas Analizador Eléctrico Multifunción 85
Tabla 17. Variables energéticas calculadas Analizador Eléctrico Multifunción 85
Tabla 18. Variables energéticas calculadas Analizador Eléctrico Multifunción (Continuación) 86
Tabla 19. Parámetros de identificación Cargas 90
Tabla 20. Temperaturas de fusión polímeros 91
Tabla 21. Paradas No Programadas en el Sistema Productivo 92
Tabla 22. Ajustes de Maquina de Moldeo por Inyección Identificados 95
Tabla 23. Estructura registros energéticos Dispositivo ABB ANR96-230 99
Tabla 24. Estructura registros Productivos Formato de Observación y Registro 100
Tabla 25. Escenarios Energéticos de Producción - EEP – Componentes Energéticos 103
Tabla 26. Líneas de Análisis Energético 104
Tabla 27. Conceptualización Registro Integrado Producción-Energía 105
Tabla 28. Intervalos de Aceptación Coeficientes de Correlación Pearson 106
Tabla 29. Variables Productivas Líneas de Análisis Energético 107
Tabla 30. Variables Energéticas Líneas de Análisis Energético 108
Tabla 31. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 1 – Línea EA1 109
Tabla 32. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 2 – Línea EA1 109

Tabla 33. Variables Grupo Sucesos de Producción – EA1 110
Tabla 34. Coeficientes de Correlación Grupo Sucesos de Producción– Línea EA1 111
Tabla 35. Coeficientes de Correlación Grupo Ajustes de Maquinaria – Línea EA1 113
Tabla 36. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 1 – Línea EC1 114
Tabla 37. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 2 – Línea EC1 115
Tabla 38. Variables Grupo Sucesos de Producción – EC1 116
Tabla 39. Estado componentes energéticos en asincronía – EC1 116
Tabla 40. Coeficientes de Correlación Grupo Sucesos de Producción– Línea EC1 117
Tabla 41. Coeficientes de Correlación Grupo Ajustes de Maquinaria – Línea EC1 118
Tabla 42. Variables correlacionadas Línea Energética EA1 119
Tabla 43. Variables correlacionadas Línea Energética EC1 120
Tabla 44. Revisión Variables 122
Tabla 45. Variables Modelo de programación lineal 124
Tabla 46. Comparación restricción Capacidad Disponible 127
Tabla 47. Variables Análisis de Producción 134
Tabla 48. Resultados Programa Lineal 135
Tabla 49. Análisis de Sensibilidad 136
Tabla 50. Reporte Límites 137
Tabla 51. Comparativo Metodología Plan de Producción 138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes generales Investigación 23
Figura 2. Línea de Tiempo Iniciativas Administración Energética 31
Figura 3. Indicadores Eficiencia Energética 41
Figura 4. Sistemas de potencia y Sistema de Control - (Hidráulico) 47
Figura 5. Unidad de inyección y de Cierre 48
Figura 6. Fases en el Ciclo de Inyección 49
Figura 7. Fase de Cierre – Cierre del Molde de Inyección 50
Figura 8. Fase de Inyección, Inyección del material plastificado en el molde 50
Figura 9. Fase de Sostenimiento, Aplicación de Presión de sostenimiento y llenado 51
Figura 10. Fase de Plastificación, Plastificación del material en tornillo sinfín 52
Figura 11. Profundidad y Posición surcos tornillo de inyección 52
Figura 12. Zonas del tornillo Sinfín 53
Figura 13. Válvula de Retención - Boquilla 54
Figura 14. Fase de Enfriamiento, Enfriamiento y plastificación del material 54
Figura 15. Fase de Expulsión, Apertura y expulsión de la pieza inyectada 55
Figura 16. Distribución Energética moldeo por inyección 56
Figura 17. Potencia Eléctrica Ciclo de Inyección 57
Figura 18. Desempeño Ambiental y Ocupacional 62
Figura 19. Histórico consumo energía eléctrica 63
Figura 20. Estaciones de trabajo - Líneas de Producción Económica 69
Figura 21. Dinámica Compuestos de Inyección 70
Figura 22. Diagrama de Flujo Línea de Producción Económica 71
Figura 23. Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP 87
Figura 24. Componentes Energéticos 88
Figura 25. Eventos de Producción – EP 89
Figura 26. Sucesos de Producción - SP 90
Figura 27. Interacción Componentes maquinaria ajuste de parámetros 95
Figura 28. Formato de Observación Sistema Productivo 97
Figura 29. Metodología Integrada para el Análisis de la Información-MIAI 101
Figura 30. Componentes Energéticos del Consumo Eléctrico 102
Figura 31. Diagrama de Bloques Función Objetivo 122
Figura 32. Diagrama de Bloques Restricción Demanda 123

Figura 33. Diagrama de Bloques Restricción Capacidad en unidades de tiempo 123
Figura 34. Diagrama de Bloques Restricción Capacidad Unidades energéticas 123
Figura 35. Costos de Producción 126

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Medida Físico- Termodinámica de Intensidad Energética 43
Ecuación 2. Medida Físico-Termodinámica de Eficiencia Energética 43
Ecuación 3. Función Objetivo 126
Ecuación 4. Costo de Producción 126
Ecuación 5. Restricción Demanda unidades de venta 127
Ecuación 6. Capacidad Necesaria formulación Original 127
Ecuación 7. Restricción Capacidad en unidades de tiempo 128
Ecuación 8. Restricción Materia Prima Polipropileno-PP 128
Ecuación 9. Restricción Materia Prima Polietileno de Alta Densidad-PEAD 128
Ecuación 10. Restricción Materia Prima Polietileno de Baja Densidad - PEBD 128
Ecuación 11. Restricción Materia Prima Polietileno Tereftalato-PET 129
Ecuación 12. Restricción Capacidad Unidades energéticas 129
Ecuación 13. Costo de Producción 130
Ecuación 14. Costo Polímero por Unidad de Venta 130
Ecuación 15. Costo Pigmento por Unidad de Venta 131
Ecuación 16. Costo Mano de Obra por Unidad de Venta 131
Ecuación 17. Costo Mano de Obra Reciclando 131

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Condiciones de instalación interior – Tablero de Distribución 65
Fotografía 2. Máquina de Moldeo Por Inyección CJ180 M3V 66
Fotografía 3. Máquina de Moldeo Por Inyección EM180-V 66
Fotografía 4. Unidad Refrigerante 67
Fotografía 5. Molino Eléctrico Pulverizador 67
Fotografía 6. Apilamiento temporal 72
Fotografía 7. Normalización - Nivel de humedad 72
Fotografía 8. Inspección visual Materia prima 72
Fotografía 9. Dispositivo de Mezcla y Pigmentación 73
Fotografía 10. Mezcla de Inyección 73
Fotografía 11. Canecas de Pigmentación 73
Fotografía 12. Operario Cargando 74
Fotografía 13. Mezcla cargada 74
Fotografía 14. Carga directa 74
Fotografía 15. Operación de revisión calidad 75
Fotografía 16. Configuración maquinaria 75
Fotografía 17. Producto conforme previo revisión 75
Fotografía 18. Producto No conforme 75
Fotografía 19. Apilamiento productos terminados 76
Fotografía 20. Polipropileno circular 77
Fotografía 21. Polipropileno Mezcla 77
Fotografía 22. Polipropileno reciclado - Canecas 78
Fotografía 23. Polipropileno extruido 78
Fotografía 24. Polipropileno reciclado - Envases 78
Fotografía 25. Mezcla Heterogénea de polímeros – Producto Inyectado 79
Fotografía 26. Degradación Térmica 80
Fotografía 27. Contaminación Externa –Vela 80
Fotografía 28. Contaminación Externa 80
Fotografía 29. Contaminación Externa – "Vela" 80
Fotografía 30. Parada no programada 1 - Inyección obstaculizada 94
Fotografía 31. Componente metalico de encauce (Tapa metalica) 94
Fotografía 32. Parada no programada 6 - Inyección fuera de cauce 94

Fotografía 33. Paradas no programada 7 y 9 - Obstrucción de tolva 94
Fotografía 34. Registros en tiempo real software ABB SACE S.p.A 2003 SW.-128 versión 4.12 96
Fotografía 35. Gaveta Dispositivo ABB ANR96-230 97
Fotografía 36. Instalación Dispositivo ABB ANR96-230 97

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Formato de Observación y Registro Sistema Productivo 148
Anexo B. Registros Energéticos Dispositivo ABB ANR96-230 150
Anexo C. Frecuencia Eventos de Producción – EP 151
Anexo D. Registro Integrado Producción-Energía (Aparte) 152
Anexo E. Selección Variables Factores de Producción 153

GLOSARIO

CAPACIDAD DE INYECCIÓN: La capacidad de inyección representa el máximo volumen de material fundido que es inyectado en el molde, usualmente es entre el 30% y el 70% de la capacidad disponible en el plastificador (tornillo)

COLORANTE: Son formulaciones de pigmentos, tintes o aditivos usados para colorar internamente los plásticos.

COLORANTE TERMOPLÁSTICO: Colorante específico para termoplásticos, 3 categorías de colores son utilizados para producirlos, Pigmentos, tintes y Colores para efectos especiales todos producidos en polvo.

DRY COLOR: Es una forma de colorante en polvo fino, de bajo costo producido en su mayoría en un mezclador de alta intensidad sin procedimiento calóricos involucrados, utilizado para pigmentar resinas como el polietileno y el polipropileno.

EFICIENCIA ENERGÉTICA: Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.

ENERGÍA: Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros similares, diferentes formas de energía incluyen la renovable, la que puede ser comprada, almacenada, tratada, utilizada en equipos o en un proceso o recuperada. En relación a un sistema es su capacidad de producir una actividad externa o de realizar un trabajo.

MASTERBATCH: Es una forma de colorante concentrado, *pelletizado* o granulado producido por extrusión.

PLASTICIDAD: Propiedad general de todos los materiales orgánicos e inorgánicos de irreversiblemente deformarse sin romperse, debido al inherente grado de ocurrencia de esta propiedad, los polímeros moldeables son reconocidos como *plásticos* enfatizando esta habilidad.

PIGMENTO: Los pigmentos son clasificados en orgánicos e inorgánicos, ambas clases son insolubles en resinas y por esto requieren de un mayor cizallamiento para ser propiamente dispersados en las resinas plásticas.

PIGMENTO ORGÁNICO: Con ocurrencia de forma natural en la naturaleza, partículas de gran tamaño y pequeñas áreas de superficies son pigmentos derivados de minerales como los óxidos de hierro y cromo así como diferentes mezclas de óxidos metálicos.

PIGMENTO INORGÁNICO: Son pigmentos sintéticos que no se producen de forma natural en la naturaleza, de gran grandes áreas de superficie y pequeño tamaño de partículas generalmente son translucidos y más difíciles de dispersar en las resinas, de gran estabilidad calórica y lumínica son usualmente considerados menos tóxicos que los pigmentos de metales pesados.

PRESIÓN DE LLENADO: *Packing pressure,* presión extra que se aplica hacia el final del Ciclo de Inyección en la Fase de Sostenimiento asegurando el completo llenado de las cavidades del molde.

POLÍMERO: Compuesto químico de alto peso molecular creado a partir de muchas, *poli-,* moléculas, -*mer–,* arregladas en una simple y repetitiva estructura para formar una molécula más grande.

Las características químicas de la combinación y procesamiento de bajo peso molecular determinarán las propiedades del polímero, variando ampliamente para cada material plástico, los polímeros pueden ser en Termoplásticos, los cuales ceden ante el calor y la presión y termoestable aquellos que no.

POLIETILENO: El polietileno-PE pertenece a la familia de la resinas poliolefinas, como uno de los termoplásticos más conocidos. Es un polímero simple con una estructura química repetitiva CH2-CH2, es un polímero versátil con innumerables variedades debido al potencial para la Co-polimerización, un gran rango de densidad, y peso molecular que varía de bajo a muy alto.
El polietileno tiene una gran dureza, ductilidad y excelente resistencia química, baja permeabilidad al vapor de agua, y una muy baja absorción de agua, estas propiedades combinadas con la facilidad con la que puede ser procesado hacen del PE uno de los polímeros de mayor volumen a nivel mundial. El polietileno es limitado por su bajo módulo, límite elástico, y punto de fusión, se utiliza para fabricar envases, botellas, películas, y tuberías, entre otras cosas.

El polietileno se presenta en tres clasificaciones principales basándose en la densidad: baja, media y alta. Estos intervalos de densidad son generalmente 0,910 - 0,925, 0,925-0,940, y desde 0,940 hasta 0,965 gr/cm3, respectivamente. Grados comercialmente disponibles se dividen aún más por la densidad en:

- Polietileno de Muy baja densidad (VLDPE[1]): Utilizado principalmente en aplicaciones de películas plásticas.

[1] En ingles *Very Low Densitiy Polyethylene*

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD): Combina alta resistencia al impacto, dureza, y ductilidad, es el material de elección para las películas plásticas de embalaje.
- Polietileno de Densidad lineal baja (LLDPE[2]): Con mejor resistencia y mejores economías de escala productivas debido a las presiones y temperaturas de polimerización más bajas supera el PEBD.
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD): Materia prima plástica de mayor volumen de producción mundial, los métodos más comunes de procesamiento son el Moldeo por Soplado (botellas, juguetes, baldes), el Moldeo por Inyección (Domésticos, juguetes, envases de Alimentos).
- Ultra-alto peso molecular (UHMWPE[3]): De mayor peso molecular imparte resistencia a la abrasión, alta tenacidad, y temperaturas criogénicas, excelente resistencia a la fractura por estrés. Modelado a partir de polvo fino extruido o moldeado por compresión. Utilizado en revestimientos de equipos de procesamiento de químicos y superficies metálicas.

POLIETILENO TEREFTALATO (PET[4]): Con enormes aplicaciones comerciales como un material de calidad para el Moldeo por Inyección, para botellas moldeadas por soplado, y para películas orientadas se caracteriza por una densidad de 1.56 gr/cm3

Las resinas no reforzadas ofrecen las siguientes características: (1) dureza, fortaleza y alta resistencia; (2) alta resistencia a la abrasión, bajo coeficiente de fricción; (3) buena resistencia química, muy baja absorción de humedad y la resistencia al flujo en frío; (4) resistencia a la fatiga y fractura por estrés; (5) buenas propiedades eléctricas; y (6) buen aspecto superficial.

POLIPROPILENO (PP): Químicamente similar al polietileno pero con mejor fuerza física y una densidad más baja 0.900 a 0.915 gr/cm3 sobresale por su rigidez.

Con una vida útil casi infinita bajo flexión superan los otros plásticos en propiedades eléctricas, resistencia al calor, rigidez, tenacidad, resistencia química, estabilidad dimensional, brillo superficial, y flujo de fusión, manteniendo un bajo costo. Debido a su calidad y versatilidad excepcionales, ofrecen un potencial excepcional en la fabricación de productos a través de moldeo por inyección, es el único termoplástico de alto volumen que es procesable por los principales métodos de fabricación: moldeo, extrusión, película y la fibra.

POLIMERIZACIÓN: Es la reacción química en la que las moléculas de un monómero son unidas para formar grandes moléculas cuyo peso molecular es un múltiplo de la de la sustancia original.

[2] En ingles Low Linear *Densitiy Polyethylene*

[3] En ingles *Ultra-High Molecular Weight Polyethylene*

[4] En inglés *polyethylene terephtalate*

Cuando dos o más monómeros están involucrados, el proceso es llamado copolimerización o heteropolimerización.

REBABA: Porción de material sobrante que sobresale irregularmente de la geometría en los bordes o en la superficie de un objeto cualquiera.

TERMOPLÁSTICO: Los termoplásticos son materiales poliméricos capaces de ser ablandado o fundido repetidamente por aumentos en su temperatura y endurecido por la disminución de la misma. Estos cambios son físicos y no químicos se pueden hacer porque no hay reticulación dentro del polímero.

Un material termoplástico puede existir en una estructura lineal o ramificada. En el calentamiento de un termoplástico, se forma un líquido altamente viscoso que se puede moldear con equipo de procesamiento de plástico.

TERMOESTABLE: Son materiales poliméricos que han sido sometidos a una reacción química mediante la acción del calor, un catalizador, luz ultravioleta UV, y similares, dando lugar a un estado relativamente infusible después de endurecerse. Este estado infusible es el resultado directo de reticulación en el polímero.

RESUMEN

El modelamiento matemático como herramienta de optimización de sistemas productivos se construye a partir de las políticas organizacionales y el desempeño de los factores de producción más representativos. En industrias energéticamente intensivas como la fabricación de productos plásticos, en un entorno de manufactura de grandes volúmenes de producción donde el consumo energético por unidad producida es elevado, el seguimiento de este factor toma mayor protagonismo debido a su inherente y elevada contribución en los costos de producción totales, convirtiéndose en el principal parámetro de producción donde aplicar las estrategias de optimización para la reducción de costos.

La valoración e identificación cualitativa del problema de optimización tras el intercambio de información con la organización y el análisis cuantitativo del sistema productivo, complementan dos de las 3 fases con la construcción de un modelo de optimización que describe el comportamiento del sistema energético particular, el diseño especifico de las estrategias de recolección (Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP) y análisis energético (Metodología Integrada para el Análisis de la Información–MIAI), como aproximaciones de fácil aplicación, bajo nivel tecnológico y reproducibilidad en industrias del sector consolidan por su parte la metodología utilizada para el análisis energético del sistema particular, permitiendo analizar la incidencia energética en el sistema productivo de las diferentes variables en los factores de producción (mano de obra, materia prima y capital -maquinaria y herramientas-), estableciendo un panorama de utilización y permitiendo evaluar el sistema desde la perspectiva energética para su optimización.

El análisis energético permitió establecer la Línea de Base Energética[5] (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación NTC-ISO 50001, 2011) en la organización, como parámetro comparativo inicial del modelo matemático planteado, que tiene como objetivo maximizar la utilidad obtenida por Unidad de Venta, que acompañada de cambios metodológicos en el sistema busca aprovechar al máximo la utilización de la capacidad energética instalada. El contraste de las observaciones iniciales con los cambios metodológicos detectados sugiere la creación de nuevas políticas de gestión energética para mejorar el desempeño energético como parámetro de Eficiencia Energética.

[5] Numeral 3.6. Línea de Base Energética: Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético

INTRODUCCIÓN

La productividad de los procesos de manufactura está determinada por la relación existente entre los recursos utilizados y los bienes y/o servicios obtenidos. Desde una perspectiva económica se refiere a la eficiencia del proceso de manufactura (Hill, 2012) y desde la perspectiva energética como Eficiencia Energética (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación NTC-ISO 50001, 2011) centrándose en la utilización del recurso energético de los procesos de manufactura sin importar su procedencia; esta relación es más representativa en organizaciones con procesos de manufactura Energéticamente Intensivos, influyendo directamente en las políticas de gestión y decisiones administrativas de las operaciones rutinarias.

Como lo estableció el primer componente del Programa OPEN[6] (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009) 2009-2012, *Promoción y difusión del uso de energías limpias y eficiencia energética,* la necesidad por aumentar el conocimiento e inversión en iniciativas de Eficiencia Energética en Mipymes se ha convertido en prioridad para las metas energéticas de la nación en el futuro cercano, alineado con las estrategias de desarrollo productivo del Plan Nacional de Desarrollo 2014 -2018 "Todos Por un Nuevo País"[7] en el marco del posconflicto, la necesidad de continuar con la generación, identificación y aplicación de estrategias en el área para el fortalecimiento de la industria Colombiana, será un factor determinante de desarrollo Industrial.

La investigación de operaciones como herramienta administrativa ofrece una aproximación precisa para la optimización de los sistema productivos desde la eficiencia energética, razón por la cual en el marco de la investigación "*Formulación de modelos de producción para empresas manufactureras de plásticos en Bogotá basados en factores de Uso Racional de la Energía – URE"*, se desarrolló este trabajo investigativo profundizando en el análisis energético particular de una organización de manufactura de productos plásticos que utiliza el proceso energéticamente intensivo de Moldeo por Inyección. Con el diseño y aplicación de la Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP para la recolección de datos particulares y la Metodología Integrada para el Análisis de la Información-MIAI para el procesamiento de la información percibida se diseñó un modelo matemático de optimización en función del consumo energético, que permitiera contrastar las condiciones productivas

[6] Programa OPEN, Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética

[7] Estrategia Transversal Competitividad e Infraestructura Estratégica, Desarrollo Minero Energético para la equidad regional.

iniciales de la organización con el modelo matemático propuesto, así como la identificación de oportunidades energéticas para la creación de una política de gestión energética.

El enfoque principal abordó los vacíos operacionales de la organización en relación al monitoreo y control de las actividades energéticamente intensivas, convirtiéndose en el entorno experimental adecuado para el ejercicio investigativo, metodologías de operación basadas en el practicas empíricas adquiridas con la práctica así como al precariedad de las instalaciones, constituyeron el contexto adecuado para la formulación de estrategias basadas en cambios metodológicos sobre tecnológicos, como una de las propuestas de mayor impacto y rentabilidad establecidas.

Uno de los principales limitantes fue la aplicación del modelo en la organización y el conocimiento previo de la Administración Energética de sistemas productivos, como disciplina administrativa; en relación a la capacidad técnica en el uso de los dispositivos de monitoreo energético y el análisis de la información obtenida luego de la recolección de datos, limitantes que enmarcaron el alcance general del análisis propuesto.

Desde la perspectiva de la eficiencia energética el significado del análisis ofrece una visión alentadora para la administración de operaciones en las organizaciones Mipyme, la efectividad de estrategias de sencilla aplicación y gran impacto en el desarrollo de políticas enfocadas a la eficiencia energética, contribuyen a eliminar el paradigma de la aplicación de metodologías de optimización en pequeñas industrias frente al dilema de la rentabilidad como una de las percepciones más fuertes identificadas en el sector microempresarios en los últimos 15 años (República de Colombia - Ministerio de Medio Ambiente, 2002). Los resultados a corto plazo como una de las prioridades de pequeños sistemas determinan la subsistencia de la organización en un sector altamente competitivo, en donde perdidas sistemáticas aumentan la probabilidad de terminación inmediata en el primer año de operación de decenas de organizaciones anualmente, con un promedio de 15.4% en 24 ciudades principales y sus áreas metropolitanas (Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE, 2015), la importancia radica en la optimización del Sistema de Manufactura Mipymes, sistemas dedicados a la producción en pequeños volúmenes, de productos de bajo impacto en relación a la participación del mercado que tienen y el nicho en el que se encuentran.

La contribución al campo de la optimización energética desde la perspectiva académica en el sector de manufactura de productos plásticos en la ciudad de Bogotá D.C., es la aplicación de la metodología dedicada en un sistema productivo activo, las observaciones y caracterizaciones en una industria en funcionamiento permiten describir la relación de los parámetros del proceso y el consumo energético directamente en tiempo real, siendo la inflexibilidad de la

implementación de análisis teóricos uno de los retos principales en la implementación de la metodología de evaluación de la eficiencia energética a nivel organizacional (Li, 2015), debido a que frente a la búsqueda de eficiencia energética, muchos análisis se centran en el desarrollo y mejoramiento de tecnologías para grandes organizaciones (Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures, 2014) y no en el cambio de metodologías para pequeños productores, donde las actividades artesanales toman un mayor protagonismo y las prioridades administrativas son diametralmente opuestas a aquellas utilizadas en industrias de mayor tamaño, en estas, la correcta planeación, desarrollo de metodologías, e implementación de estrategias de alto impacto y bajo costo es el camino a seguir.

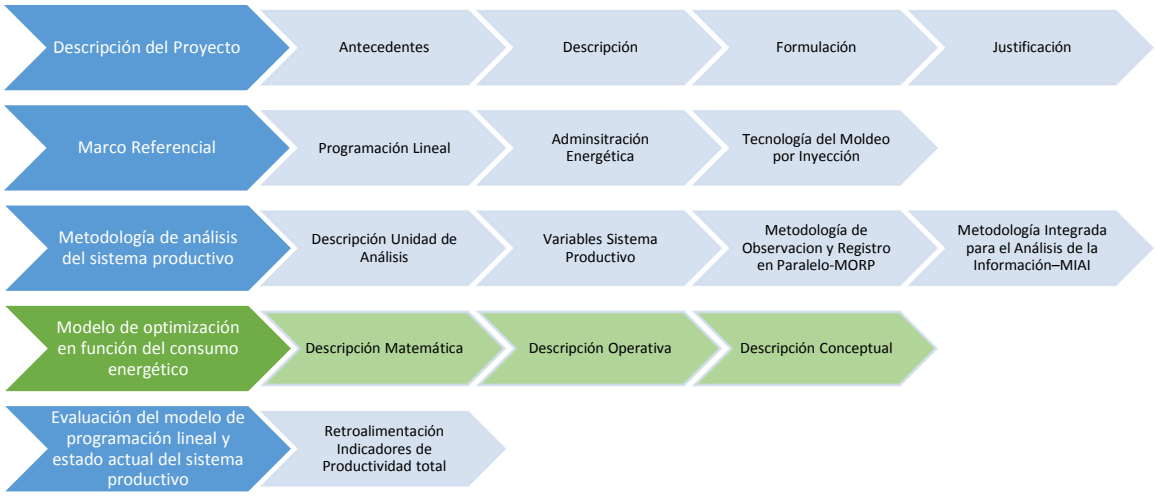
El trabajo de investigación se desarrolló en dos etapas, en la primera se desarrolló la caracterización organizacional y creación de una estructura metodológica para la obtención y procesamiento de los datos productivos y energéticos, en la segunda con el análisis metodológico se elaboró un modelo de programación lineal que en base a los datos obtenidos permitiera optimizar el sistema productivo en función del consumo energético.

Los 3 primeros capítulos componen la primera etapa de la investigación, en el capítulo DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO, se describen los antecedentes y justificación de la realización del proyecto; El capítulo MARCO REFERENCIAL describe los componentes teóricos en los cuales se enmarca la investigación, enfatizando en la Administración Energética y las herramientas de investigación de operaciones utilizadas, posterior a esto se inicia con la evaluación y caracterización del sistema productivo de la organización en el capítulo METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL SISTEMA PRODUCTIVO que desarrollado en 4 partes, presenta de forma paralela presenta las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos en cada una, inicialmente con la descripción de la Unidad de Análisis desde 8 perspectivas organizacionales complementarias, enfatizando en la dinámica del sistema en la Descripción Productiva y con una Descripción Energética caracterizando las políticas y componentes presentes en la organización; A continuación se describe el proceso de revisión y depuración de las variables productivas y energéticas utilizadas para el sistema, para continuar con la presentación de las 2 metodologías diseñadas como estrategias de recolección de datos (Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP) y análisis energético (Metodología Integrada para el Análisis de la Información–MIAI) para complementar las 4 partes.

En la segunda etapa de la investigación tras el análisis del sistema productivo y la obtención de la incidencia energética de las variables de producción se presenta en el capítulo MODELO DE OPTIMIZACIÓN EN FUNCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO, la construcción del modelo de programación lineal diseñado, descrito matemática, operativa y conceptualmente. La Figura 1.

Componentes generales investigación, describe las etapas y componentes primarios del proceso investigativo.

Figura 1. Componentes generales Investigación



1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Planes Energéticos Nacionales

El concepto de Eficiencia Energética en Colombia ha estado presente en la política pública colombiana desde comienzos de la década de 1990, tras el fenómeno climático de El Niño en 1992 y el racionamiento energético posterior generado a partir de la disminución de los niveles de los embalses de las generadoras hidroeléctricas, se advirtió entre otros la necesidad de la regulación y control del servicio público de energía eléctrica desde una perspectiva de eficiencia energética; Con la Ley 142 de 1994[8], se dio origen a la Comisión Reguladora de Energía y Gas - CREG que adscrita al Ministerio de Minas y Energía estaría encargada de entre otras actividades de *"Regular el ejercicio de las actividades de los sectores de energía y gas combustible para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente…"*, enfatizando en el aspecto eficiente de la oferta energética en el marco de un suministro constante, confiable y de creciente demanda, de forma específica la posterior Ley 143 de 1994[9] estableció los criterios de aprovechamiento dentro de un manejo integral eficiente y sostenible de los recursos energéticos del país promoviendo el desarrollo de tales fuentes y el uso eficiente y racional de la energía por parte de los usuarios, consolidando los criterios de utilización del recursos energético.

Con la generación de políticas y comisiones para la sostenibilidad energética nacional, se inició la construcción de diferentes Planes Energéticos Nacionales, consignado en la Ley 143 de 1994 como función de la Unidad de Planeación Minero Energética–UPME en concordancia con el Proyecto Plan Nacional de Desarrollo, la Tabla 1. Planes Energéticos Nacionales 1994 - 2015 a continuación, describe los objetivos y consecuencias tras dos décadas de planeación e implementación de políticas energéticas en la nación, enfocadas en el fortalecimiento, regulación y direccionamiento de estas que sirvan como base en la construcción y consolidación de una metodología de Administración Energética estatal.

[8] COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPUBLICA Ley 142 (11, Julio, 1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones, Diario Oficial 41.433 del 11 de julio de 1994

[9] COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPUBLICA Ley 143 (11, Julio, 1994). Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, trasmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética, Diario Oficial 41434 del 12 de julio de 1994

Tabla 1. Planes Energéticos Nacionales 1994 - 2015

Plan	Objetivo	Consecuencias
Plan Energético Nacional 1994-2008	- Iniciar un proceso energético integral de los recursos del país - Gestionar la demanda y el uso racional de la energía - Abastecimiento pleno y eficiente de energéticos - Incrementar las exportaciones - Desarrollo y energización regional - Calidad ambiental - Investigación y desarrollo - Modernización institucional	- Institucionalización, Creación de entidades especializadas para el sector energético - Promoción de la Competencia - Regulación de precios - Consolidación de política Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, anteriormente (Comisión Nacional de Energía)
Plan Energético Nacional 1997-2010: *Autosuficiencia Energética Sostenible*	- Promocionar la autosuficiencia energética nacional - Promocionar su influencia y aplicación dirigida al ahorro energético - Fortalecer la perspectiva de la adecuada administración del recurso tanto en hogares como en la industria, sin importar el tamaño o sector (República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME Unidad de Planeación Minero Energética-UPME, 1997)	- Pago de regalías y contribución al PIB - Posicionamiento como principal exportador de carbón en el mundo. (marzo 2003) (República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME Unidad de Planeación Minero Energética-UPME, 2003) - Tercer exportador de petróleo en Latinoamérica a la fecha (marzo 2003) (República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME Unidad de Planeación Minero Energética-UPME, 2003) - Apertura a la económica energética del país a un contexto internacional de participación activa, en la generación, distribución y administración del recurso energético generado a partir de combustibles fósiles (Petróleo, carbón y gas natural). - Modernización del sector energético - Reformas Institucionales para la competitividad y financiamiento internacional
Plan Energético Nacional 2003-2020 "Estrategia Energética Integral, Visión 2003-2020"	Visio Energética enfocada en 6 puntos: - Garantizar el aporte a la Balanza Comercial y a los ingresos de la nación - Consolidar el esquema competitivo en los diferentes mercados - Profundizar el plan de masificación de gas - Ampliar y garantizar la oferta interna de energéticos con precios eficientes y adecuada calidad - Favorecer el desarrollo regional y/o local - Investigación y desarrollo: incorporación de nuevas fuentes y tecnologías Como estrategia transversal el Uso Racional de la Energía eléctrica, entendida como el aprovechamiento óptimo de la energía en todos los eslabones de las diferentes cadenas energéticas. (República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME Unidad de Planeación Minero Energética-UPME, 2003)	- La económica colombiana continúo con la evolución económica mostrada tras la recuperación de las condiciones frágiles al finalizar el siglo XX. - El Producto Interno Bruto – PIB, mostro señales de fortalecimiento por 3 años consecutivos (2003-2005) en referencia al el periodo 2000-2002. - Adopción de sistemas de precios en concordancia a precios internacionales - Inversión y promoción de oferta energética diversa de fuentes no convencionales y biocombustibles - Atención a aspectos ambientales y mecanismos para el desarrollo energético - Creación de la Agencia Nacional de Hidrocarburos - Ley Uso Racional de Energía URE (N° 697 de 2001)
Plan Energético Nacional 2006 – 2025: Contexto y Estrategias	Aproximación a largo plazo y una estructura desarrollada alrededor de maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del País y de los Objetivos Principales: - Asegurar la disponibilidad y el pleno abastecimiento de los recursos energéticos para atender la demanda nacional y garantizar la sostenibilidad del sector energético en el largo plazo - Consolidar la integración energética regional - Consolidar esquemas de competencia en mercados - Formación de precios de mercado de los energéticos que aseguren competitividad y uso racional de la energía. - Maximizar cobertura con desarrollo local	- Incrementación de la participación en el mix energético de la nación de la energía Hidroeléctrica y aquella dispuesta del gas natural - Estabilidad en la participación del petróleo en el mix energético - Retroceso de la participación de Biomasa en el mix energético - Sustitución de fuentes energéticas menos eficientes (leña y biomasa en hogares) por mas eficientes

Tabla 1. Planes Energéticos Nacionales 1994 – 2015 (Continuación)

Plan	Objetivo	Consecuencias
Plan Energético Nacional 2010-2030	Explotar el potencial del país como exportador de energía, a partir de cadenas locales de valor agregado y garantizar a su vez el abastecimiento energético nacional en el corto, mediano y largo plazo, con criterios de calidad, seguridad, confiabilidad, competitividad y viabilidad, en el marco del desarrollo sostenible. Los objetivos trazados fueron: - Reducir la vulnerabilidad del sector energético colombiano en todas las cadenas de suministro energético y aumentar su disponibilidad y confiabilidad - Maximizar la contribución del sector energético colombiano a las exportaciones, a la estabilidad macroeconómica, a la competitividad y al desarrollo del país - Aprovechar los recursos energéticos de Colombia con criterios de sostenibilidad teniendo en cuenta las nuevas tendencias mundiales benéficas para el país - Armonizar el marco institucional para la implementación de la política energética nacional	Se estableció un diagnóstico y retos en 8 ámbitos, actores y sectores de la economía energética nacional - Sector Eléctrico - Sector Petrolero - sector Gas Natural - sector Carbón Mineral - sector Biocombustibles - Sector de Fuentes Renovables y Fuentes No Convencionales - Políticas de eficiencia energética y uso racional de la energía
Plan Energético Nacional – Colombia 2015: Ideario Energético 2050	Constituido como el siguiente Plan Energético Nacional, se enfocara en la incorporación de canastas energéticas más diversificadas con tendencia a incorporar energéticos y tecnología más limpias, propiciar mejores usos de la energía en un entorno cambiario que relegara a iniciativas con fuentes fósiles de energía a un segundo plano y dará mayor protagonismo a las renovables. En el contexto de mercados energéticos transformados y una nueva geopolítica del petróleo, que muestran un escenario de transformación sostenible y de energía asequible para todos.	

Fuente Autor

Durante este periodo de cambios en materia política y de gestión energética, la industria manufacturera bogotana, específicamente la de procesamiento de plásticos tomo gran protagonismo, su diversidad de procesos e inherente relación con la explotación de hidrocarburos la posiciono como el primer consumidor de energía eléctrica durante 1997, como es descrito a finales de esa década en las investigaciones llevadas a cabo por el M.Sc. Jorge René Silva Larrotta y el Doctor Orlando Porras Rey, las cuales sugerían la necesidad de iniciar planes energéticos de demanda eficiente y uso racional de energía para este sector en la ciudad, debido al impacto que mostraban y los pronósticos de utilización del recursos energéticos estimados (Implantación de las políticas de Eficiencia Energética, 1999). La conclusión de este trabajo planteo que la solución a los problemas energéticos específicos en la industria se darían por la utilización de una metodología que buscaba establecer y diagnosticar las pérdidas de energía, los potenciales de recuperación, ahorro y sustitución, para poder elaborar un plan que redujera el consumo y mejorara el rendimiento energético, contemplando técnica y económicamente las alternativas viables.

Posteriormente ambos autores profundizaron en su planteamiento inicial, con un análisis especifico durante 1999 y 2000 en el trabajo titulado (Situación Energética general del sector de los plásticos en Bogotá, 2001), en este se provee de un método de evaluación energética al

sector de los plásticos, desarrollando indicadores de eficiencia energética apropiados para cada proceso de manufactura y mostrando cifras que caracterizaban el sector.
La auditoría realizada en este estudio se realizó a nivel específico, absteniéndose de ahondar en cubrimientos exhaustivos de cada una de las organizaciones y los procesos que contemplaban el universo del estudio, sugiriendo que el paso siguiente en la exploración del concepto de eficiencia energética en el sector seria la exploración intensiva de cada proceso de manufactura en el sector de manufactura plástica.
De forma específica los resultados genéricos del trabajo no incluyeron el proceso de Moldeo por Inyección el cual tomaría mayor protagonismo con la entrada del nuevo milenio debido a su versatilidad y gran aplicación en Micro, Pequeñas y medianas empresas - Mipymes[10], sector de la industria donde las falencia de este estudio se evidencian como lo evidencia (Caracterización del comportamiento del sector industrial de pymes que procesan formas básicas de plástico en Bogotá, en función del consumo de energía eléctrica, 2011), en su informe final de investigación "*Caracterización del comportamiento del sector industrial de pymes que procesan formas básicas de plástico en Bogotá, en función del consumo de energía eléctrica".*

1.1.2. Leyes y políticas

Tras el impacto institucional que las entidades estatales generaron en la industria colombiana al finalizar la década de 1990 con el desarrollo de los Planes Energéticos Nacionales, al iniciar el siglo XXI se consolidaban legislaturas nacionales que permitieron ser un referente técnico del área de la Administración energética y uso eficiente de los recursos energéticos, la ley 697 de 2001-"Ley URE – Uso Racional y Eficiente de la Energía" busco "*fomentar el uso racional y eficiente de la energía*", así como "*promover la utilización de energías alternativas*", declarando "*El Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional*", lineamientos claves en estrategia para el aseguramiento del abastecimiento energético a nivel nacional, promoviendo la competitividad de la economía colombiana, desde una fortalecida perspectiva sostenible.

Actualmente y alineado con las estrategias de desarrollo productivo del Plan Nacional de Desarrollo 2014 -2018 "Todos Por un Nuevo País" como Estrategia Transversal [11] en el marco del posconflicto, la necesidad de continuar con la generación, identificación y aplicación de estrategias en el área, para el fortalecimiento de la industria Colombiana es un factor determinante de desarrollo Industrial, como lo estableció el primer componente del Programa

[10] En concordancia con el artículo 2° de la Ley 590 de 2000, Modificado por el art. 2, Ley 905 de 2004, Modificado por el art. 75, Ley 1151 de 2007, Modificado por el art. 43, Ley 1450 de 2011. Por la cual se dictan disposiciones para promover el desarrollo de las Mipyme, micro, pequeñas y medianas empresa

[11] Competitividad e Infraestructura Estratégica, Desarrollo Minero Energético para la equidad regional.

OPEN[12] 2009-2012, *Promoción y difusión del uso de energías limpias y eficiencia energética,* la necesidad por aumentar el conocimiento e inversión en iniciativas de Eficiencia Energética en Mipymes se ha convertido en prioridad para las metas energéticas de la nación en el futuro cercano. (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

Con una visión a largo plazo la legislación nacional promovió la Resolución 180919 de 2010 "Plan de Acción Indicativo 2010-2015", con el objeto de desarrolla el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía – PROURE, con visión a 2020 como segunda etapa en el plan, que busca establecer estrategias y acciones que procuraran mejorar el uso de las fuentes de generación eléctrica actuales, en función de impactos en productividad, competitividad, disminución de intensidad energética y huellas ambientales, concientizando al productor colombiano sobre la importancia de la correcta administración de la energía eléctrica.

1.1.3. Convenios, Guías ambientales y metodológicas – Sector Plásticos

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo "Hacia un Estado Comunitario" 2002-2006 y liderado por el centro Nacional de Producción más Limpia se crea la Guía de buenas prácticas en uso racional de la energía para el sector de las pequeñas y medianas empresas (República de Colombia - Ministerio de Medio Ambiente, 2002) cuyo objetivo "*era identificar de manera general los potenciales de mejoramiento desde el punto de vista técnico, ambiental y económico, orientados hacia el incremento de la eficiencia en los procesos que consumen energía".* De igual forma bajo la asociación del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Asociación Colombiana de Industrias Plásticas – ACOPLASTICOS, con la participación del Instituto de Investigación y Capacitación del Plástico y el Caucho (ICIPC) y de demás empresas del sector, en el año 2004 se suscribió el Convenio Especial de Cooperación Científica y Tecnológica No. 035, "*con el objeto de elaborar dos guías ambientales relacionadas con el proceso de transformación de las materias plásticas y el manejo racional, aprovechamiento y disposición de los residuos plásticos, principalmente de pos-consumo,* (República de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Colombia, 2004). De este convenio surge el Documento "*Guía Ambiental Sector Plásticos - Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo*", como instrumento de gestión y autorregulación ambiental, que incluye los dos objetos del convenio y permite el mejoramiento de los procesos de producción, racionalizan el uso de los recursos naturales y reducen los impactos ambientales originados por sus actividades, así mismo el esfuerzo provee información y directrices técnicas para el manejo y procesamiento de los polímeros, identifica sus principales impactos ambientales y define actividades de manejo precisas, asegurando que todos los

[12] Programa OPEN, Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética

procesos que conforman el ciclo de producción del plástico, se desarrollen de una forma ambientalmente sostenible.

Para el año 2008, en el marco del convenio entre la Cámara de Comercio de Bogotá-CCB institución de servicios de carácter privado sin ánimo de lucro[13] y el Banco Interamericano de Desarrollo en su calidad de Administrador del Fondo Multilateral de Inversiones (BID-FOMIN), suscriben el convenio ATN/ME-11056 ejecutado por la Corporación Ambiental Empresarial CAEM, filial de la Cámara de Comercio de Bogotá el cual tiene por objeto la Promoción de Oportunidades de Mercado en Energías Limpias y Eficiencia Energética; Dentro de este proyecto se encuentra el desarrollo de las guías metodológicas sectoriales para realizar diagnósticos energéticos, donde el subsector de los plásticos como rama de la industria petroquímica recibe particular protagonismo debido a su contribución e impacto energético en los costos de operación de las organizaciones del sector Mipyme, de este convenio surge la "*Guía metodológica para el uso eficiente de la energía en el sector: Plásticos*", haciendo uso de la Administración de la Energía traza como su objetivo principal "*lograr la mayor reducción posible en los consumos energéticos, utilizando la tecnología disponible en la empresa e implementando las modificaciones necesarias para alcanzar la máxima eficiencia y la mayor rentabilidad"* (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009), enfatizando la importancia de los cambios metodológicos sobre los tecnológicos como parámetro inicial de reducción del consumo y aumento de los indicadores de eficiencia energética.

El objetivo central de desarrollo de estas guías fue brindarles apoyo técnico a los empresarios, gerentes y personal técnico-operativo de la Industria plástica en los siguientes aspectos:

• Establecer medidas de ahorro por ejecución de buenas prácticas operacionales y de mantenimiento.
• Formular un plan de administración y manejo de energía.
• Referenciar los avances tecnológicos propios del subsector.
• Propuesta de manejo de indicadores energéticos a través de formatos para la aplicación de un plan de control y monitoreo.

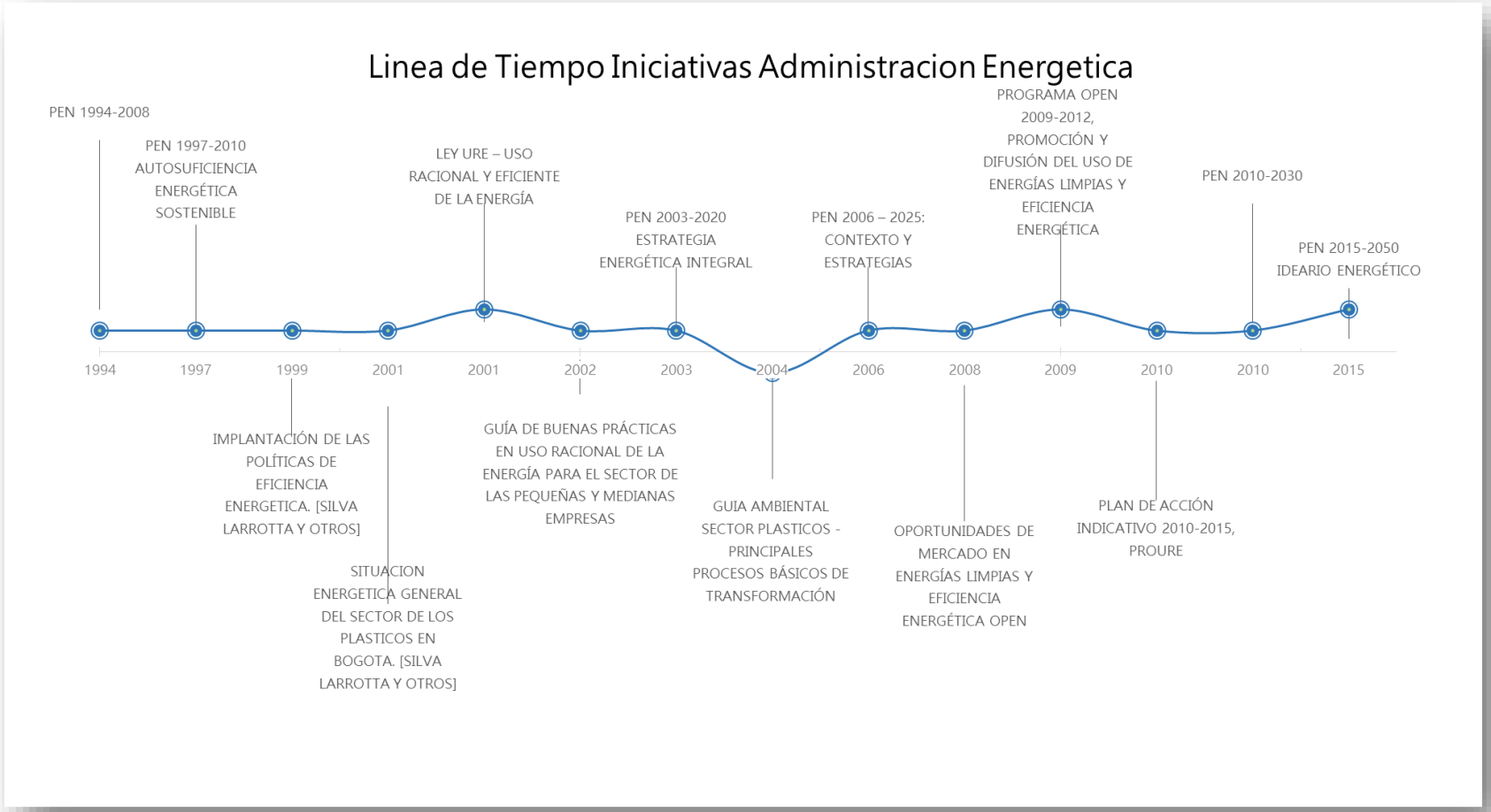
Regionalmente la importancia de la interacción del sector plástico con las empresas generadoras de energía eléctrica ha sido liderada por ACOPLASTICOS, con diferentes iniciativas

[13] El objetivo general de la Cámara de Comercio de Bogotá CCB es el de promover el aumento de la prosperidad de los habitantes de la ciudad de Bogotá D.C. y su zona de influencia, a partir de servicios que apoyen las capacidades empresariales y que mejoren el entorno para los negocios con incidencia en la política pública

que buscaban crear una línea directa de interacción industrial entre las compañías eléctricas y las empresas de las cadenas productivas químicas. Acuerdos y representaciones estratégicas muestran la importancia de los convenios suscritos que reflejan la importancia de la energía eléctrica como uno de los insumos de mayor contribución al costo de producción. Con la compañía ENERSIS para el periodo 2001-2002, EMGESA periodo 2003-2014, así como convenios suscritos con la Empresa de Energía de Cundinamarca – EEC, para los periodos 2007 – 2008 y 2009 – 2010, afianzan una relación estrecha de constante comunicación y de detección de oportunidades de mejora del potencial productivo del sector.

A continuación se muestra en la Figura 2. Línea de Tiempo Iniciativas Administración Energética, una consolidación de las iniciativas de Administración Energética nacionales y del sector de plásticos en Colombia en los últimos 25 años.

Figura 2. Línea de Tiempo Iniciativas Administración Energética



Fuente Autor

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN

El incremento de la producción bruta del sector de Fabricación de Productos Plásticos en el periodo 2011-2014 en Colombia lo posiciono tras subir 3 escalones, como el quinto de mayor importancia con un participación del 3,9% de la Producción Bruta nacional, compitiendo directamente con industrias alimenticias y minerales no metálicas. Como el tercer grupo Industrial en personal ocupado y número de establecimientos 7,6% y 7,2% respectivamente, segundo en personal remunerado permanente 7,7% como señal de estabilidad laboral y quinto en energía eléctrica consumida con 1.173,4 GWh, cerca de 7,4% del total industrial nacional, después de industrias mineras (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2015); la industria de fabricación de productos plásticos en Colombia es un referente industrial desde múltiples perspectivas productivas, su influencia radica en el nivel técnico propio de los procesos de manufactura empleados, energéticamente intensivos y de grandes volúmenes de producción por su carácter repetitivo.

A pesar de la importancia de este sector, la caracterización energética del mismo parece estar incompleta en referencia a la participación de las Mipymes y su importancia industrial en este, iniciativas como el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales – PROURE 2010- 2015 (República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME, 2010) adelantado por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, ofrecen visiones contradictorias frente a las iniciativas en búsqueda de la correcta utilización de la energía en el sector, mientras en el Subprograma Sectorial, Línea de Acción Prioritaria, la prioridad de la *Gestión de la energía en la industria* es alta, otras líneas como el *Uso racional y eficiente de la energía en Pymes* reciben un nivel de priorización bajo, excluyendo la aplicación de estrategias para las Mipymes en el sector de la manufactura de productos plásticos, por ende la creación de políticas de gestión energética y productiva dirigidas específicamente a ellas, aproximación que es descrita por la ausencia de caracterización e información precisa del sector Mipyme y su contribución porcentual en la industria de manufactura plástica en general (Caracterización del comportamiento del sector industrial de pymes que procesan formas básicas de plástico en Bogotá, en función del consumo de energía eléctrica, 2011).

Al ser aisladas de las políticas de gestión energética y sin el desarrollo de estrategias productivas que le permitan validar la implementación de programas para el cumplimiento de objetivos secundarios en el PROURE para la industria colombiana, las Mipymes se enfrentan a la gestión energética sin herramientas adecuadas y soporte institucional suficiente, inevitablemente se afectara su desempeño energético el cual estará por debajo de lo requerido para el sector, impactando negativamente la eficiencia energética de la industria en general; Perjudicar el crecimiento sostenible y energéticamente consciente afectara el crecimiento de las mismas

desde una perspectiva económica y productiva, convirtiéndose en una carga administrativa para aquellas que lo hagan, el haber trasladado prácticas de manufactura erróneas sin fundamentos teóricos en relación a la gestión energética de sistemas productivos energéticamente intensivos.

La influencia de los factores institucionales y productivos es directa, la falta de implementación de políticas energéticas en las Mipymes aleja la posibilidad de profundización en aspectos teóricos del ejercicio productivo que permitirían mejorar el desempeño energético en estas, no prestar atención a las variables de producción y su influencia en el consumo energético así como su influencia en los indicadores de productividad, como reflejo propio de una estructura administrativa particular, que relega la teoría frente a la solución de problemas inmediatos, no debe ser un obstáculo en la implementación de sistemas de control productivo.

Como uno de los programas más prometedores en relación al incremento de ganancias y reducción de costos energéticos en organizaciones industriales, comerciales y de manufactura disponibles hoy en día, la Administración Energética es una de las iniciativas que mayor impacto pueden alcanzar rápidamente con una inversión mínima o sin ella, específicamente en organizaciones de manufactura las herramientas de optimización productiva como el modelamiento matemático alcanzan entre 5-15% en ahorro por costos energéticos cuando un programa de administración energética es implementado de forma intensiva, (Capehart, y otros, 2012), estas herramientas como soporte general de una iniciativa de gestión energética se convierten en instrumentos clave y de gran influencia en la toma de decisiones y creación de políticas energéticas, debido a su naturaleza inclusiva de todos los parámetros productivos en cada uno de los factores en los sistemas de producción, los ahorros resultantes a partir de actividades de reconversión tecnológica y cambios metodológicos, contribuyen en la minimización de graves problemas ambientales, como el cambio climático, incrementando la competitividad industrial de las organizaciones.

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Es posible formular un modelo matemático para la optimización de un sistema productivo energéticamente intensivo en función del consumo energético, basado en la incidencia de las variables productivas de los factores de producción en las variables energéticas del sistema.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Medir la eficiencia energética de los componentes energéticos y procesos es la estrategia inicial para la gestión eficaz de la energía en los sistemas productivos energéticamente intensivos. Con la priorización de iniciativas de Gestión Energética en algunas industrias expresadas como enfoque institucional en las políticas del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales – PROURE 2010- 2015, se evidencio la falta de estimación de la contribución al consumo energético de las Mipymes de cualquier grupo industrial, al no tener certeza de la participación económica industrial, las políticas se contradicen y se demuestra la falta de caracterización del sector.

Como medida de acompañamiento y dirección a organizaciones Mipyme del sector plástico, esta investigación se enfocó en la creación de estrategias metodológicas para la obtención y análisis de datos productivos y en la formulación de herramientas matemáticas de optimización productiva y estrategias de administración energética que sirvieran para detectar el potencial energético de la producción, en búsqueda de creación de políticas para la gestión energética y toma de decisiones, que alineado con investigaciones previas en el marco de la administración energética en Mipymes, evidencian la necesidad por identificar la oportunidades de mejora y el potencial productivo en organizaciones que tienen un gran impacto energético, previniendo el traslado de prácticas de manufactura erróneas de sistemas productivos pequeños a sistemas más grandes, tras el paso de etapas introductorias y con la maduración económica de estas, apoyando las metodologías del uso eficiente de la energética eléctrica en Mipymes desde su concepción hasta su madurez, que debido al alto grado de dificultad técnica se vuelven una barrera administrativa para estas.

En el contexto idóneo para las estrategias de gestión energética en industrias del sector plástico, este estudio de caso se enfocó en promover la cultura de fortalecimiento institucional de Mipymes desde la perspectiva productiva y energética, la importancia de desarrollar herramientas de fácil aplicación, flexibles a las prácticas de manufactura particulares, con un bajo costo de implementación, que se desempeñen como acciones introductorias a metodologías de gestión energética, cimentaran una estructura metodológica industrial que puede ser replicada a organizaciones símiles, detectando el potencial productivo del sector como objetivo final.
Particularmente la organización estudiada no cuenta con indicadores o registros históricos de datos de productividad en el marco de un modelo de producción, que le permita establecer políticas y parámetros claros de producción y utilización de la energía eléctrica percibida, optimizar el sistema productivo apoyado en el diseño de un sistema de observación y control

de las variables productivas en función de las variables energéticas se hace imperativo en un entorno de aprovechamiento de los recursos energéticos consumidos propios del sector y de la industria específica, en la continua búsqueda por mejorar el sistema productivo propio, así como acogerse a políticas del uso racional de la energía.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. General

Formular un modelo matemático para la optimización del sistema productivo en función del consumo energético en la Mipyme Aseo plast JLH.

1.5.2. Específicos

1. Caracterizar la unidad de análisis desde la perspectiva productiva y energética
2. Establecer las variables productivas y energéticas presentes en la organización.
3. Construir una metodología de observación y registro de las variables productivas en función de las energéticas.
4. Construir una metodología de análisis que integre la información obtenida.
5. Determinar estadísticamente mediante coeficientes de correlación, la relación existente entre las variables productivas en los eventos de producción y el consumo energético particular de la organización.
6. Formular un modelo de optimización en función del consumo energético con las variables productivas de mayores coeficientes de correlación.

1.5.3. Metodología

La metodología está definida por el progreso de los objetivos específicos, las actividades desarrolladas se harán de forma secuencial como consecuencia de un proceso establecido por etapas, que hace uso de resultados previos para su construcción.

Caracterización de unidad de análisis

- Caracterizar la organizacion desde la perspectiva productiva y energética

Variables Productivas y Energéticas

- Revisión bibliográfica variables productivas y energeticas del sector
- Observación del sistema variables productivas y energeticas propias
- Retroalimentacion y seleccion variables productivas y energetica

Metodología de Observación, Registro y análisis de variables productivas en función de las energéticas

- Formato de Observación y Registro de produccion exluidas variables energeticas
- Establecer medios tecnologicos para la obtencion de variables energeticas
- Metodología de recopilación de datos en paralelo sincronia produccion-energia

Correlacion estadistica Indicadores de producción y Consumo energético

- Establecer niveles de aceptación para los indicadores de correlación estadística a obtener teniendo en cuenta el sector y el tipo de industria
- Determinar coeficientes de correlacion desde 3 perspectivas productivas con el consumo energetico percibido en la organizacion (Analisis de Independencia)

Modelo matematico de optimizacion productiva variables coeficientes de correlaciones altos del sistema

- Restricciones productivas en funcion del consumo energetico y capacidad de produccion
- Se construirá un modelo de programación lineal para el sistema productivo, basado en parametros de consumo energetico

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal tiene sus raíces en el estudio de las desigualdades lineales, que tienen su origen en 1826 con la obra de Jean-Baptiste Joseph Fourier (Vanderbei, 2014). Desde entonces, con el descubrimiento del teorema de la dualidad que revela que asociado a cada problema de programación lineal existe un problema dual la importancia de análisis matemático se ha incrementado así como sus aplicaciones (Hillier, y otros, 2010).

La aplicación práctica tiene su inicio en 1939 con el algoritmo desarrollado por L.V. Kantorovich para la solución de una determinada clase de problemas de programación lineal (Kantorovich, 1960) a pesar de esto el trabajo de Kantorovich fue desconocido en el Oeste y desapercibido en el Este por muchos años. La apreciación teórica y práctica tomo gran relevancia en 1947 con la invención del método simplex por parte de G.B. Dantzig para la resolución de problemas de programación lineal surgidos a partir de los problemas de planificación en la Fuerza Aérea Estadounidense (Vanderbei, 2014).

En el mismo año de la invención de Dantzig, T.C. Koopmans comprobó que la programación lineal proporcionaba el modelo apropiado para para el análisis de las teorías económicas clásicas. En 1975, la Real Academia Sueca de las Ciencias concedió el Premio Nobel en Ciencias Económicas a L.V. Kantorovich y T.C. Koopmans "por sus contribuciones a la teoría de la óptima asignación de recursos"[14].

Siendo una de las muchas técnicas utilizadas en la programación matemática, la programación lineal es una de las principales herramientas en la investigación de operaciones; descrita como una aproximación matemática para encontrar el valor óptimo de una función lineal de múltiples variables restringidas por una serie de ecuaciones lineales de las mismas variables (Hill, 2012), es una herramienta de gran importancia a la hora de tomar decisiones basados en criterios matemáticos. Un programa lineal típico tiene una solo función objetivo, ecuación lineal que contiene la variable a ser optimizada, así mismo las restricciones deben ser expresadas en términos lineales.

[14] Premio Sveriges Riksbank en Ciencias Económicas en memoria de Alfred Nobel 1975 fue entregado conjuntamente a Leonid Vitaliyevich Kantorovich y Tjalling C. Koopmans "for their contributions to the theory of optimum allocation of resources" Recuperado el 20 de Noviembre 2015 de http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/1975/

El rango de aplicación incluye muchos problemas operacionales, los más representativos son (Hill, 2012):

- El Problema de Asignación: Situar los ítems que necesitan asignación con las posibles asignaciones (locaciones), para minimizar el costo total sujeto a la restricción de que cada ítem debe ser asignado únicamente a una locación y cada locación debe tener únicamente una locación.
- El Problema de transporte: Encontrar la cantidad de producto a ser enviado de la planta *i* a el mercado *j* minimizando el costo total. Las restricciones incluyen (a) a necesidad de satisfacer exactamente la demanda del mercado y (b) el requerimiento de que todos los productos disponibles sean enviados a algún mercado. Este tipo de problema puede ser extendido fácilmente para manejar múltiples periodos (donde el producto es enviado de un periodo a otro) y múltiples productos.
- El problema de Mezcla de ingredientes: Encontrar la mezcla óptima de ingredientes para minimizar el costo total manteniendo las restricciones de valor nutricional, calidad o especificación.
- El problema de mezcla de productos: encontrar la mezcla de productos óptima para maximizar la contribución a la ganancia cumpliendo con la capacidad y demanda.

2.1.1. Formulación General

Matemáticamente puede ser expresado como (Hill, 2012):

Maximizar o Minimizar $\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$;

Sujeto a: $\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq b_i$

$x_j > 0$;

Para las restricciones $i = 1,2, \dots, M$. Donde x_j corresponde a las variables de decisión, c_j son los coeficientes de la función objetivo, y b_j son los coeficientes del "lado derecho" de las restricciones, la restricción de no negatividad para las variables puede no cumplirse en todos los problemas (Hillier, y otros, 2010).

La solución a un programa lineal provee de valores óptimos a cada una de las variables de decisión. En adición la solución también ofrece "precios sombra" para cada restricción. El precio sombra es el valor añadido al relajar cualquier restricción en una unidad. Los precios sombra permiten llevar a cabo "análisis de sensibilidad" para experimentar con una variedad de escenarios, tales como el incremento o decremento de recursos.

2.1.2. Teoremas fundamentales

De acuerdo con (Vanderbei, 2014), para un problema de programación lineal en forma arbitraria, las siguientes afirmaciones son ciertas:

1. Si no hay ninguna solución óptima, entonces el problema es inviable o no está acotado
2. Si existe una solución factible, entonces existe una solución factible básica
3. Si existe una solución óptima, entonces existe una solución óptima básica.

2.2. ADMINISTRACIÓN ENERGÉTICA

Definida como el uso eficiente y efectivo de la energía para maximizar las ganancias (minimizar costos) y mejorar las posiciones competitivas (Capehart, y otros, 2012), la Administración Energética toma relevancia como una forma de administración de recursos intangibles traducidos en bienes y servicios en cualquier sistema productivo, a nivel residencial, productivo e industrial. Su importancia radica en la inherente necesidad de desarrollar planes y programas para el correcto uso de la energía disponible, que además del beneficio económico giren en torno objetivos secundarios deseables derivados directamente, (Capehart, y otros, 2012) los define según su relevancia económica, contexto ambiental, impacto social y perspectiva industrial e incluyen:

1. Mejorar la eficiencia energética y reducir el uso de la energía, de este modo reduciendo costos
2. Reducir la emisión de gases productores del efecto invernadero y mejorar la calidad del aire
3. Cultivar buenas comunicaciones en aspectos energéticos
4. Desarrollar y mantener un monitoreo efectivo , reportando y administrando estrategias para el acertado uso de la energía
5. Encontrar nuevas y mejores formas de incrementar el retorno de inversiones energéticas a través de investigación y desarrollo
6. Desarrollar interés y dedicación en el programa de administración energética en todos los empleados
7. Reducir el impacto de reducciones en el suministro, bajas de tensión o cualquier interrupción en el suministro energético[15]

[15] Reducciones o cortes en el suministro energético ocurren cuando el proveedor del servicio de alguna fuente de energía, en el caso de los combustible fósiles es obligado a reducir sus cargamentos drásticamente debido a condiciones climáticas o problemas en la distribución, condiciones climáticas como el fenómeno natural de El Niño a su vez generan reducciones en el suministro en sistemas hidroeléctricos de generación

2.2.1. Eficiencia energética

Desde la perspectiva teórica la eficiencia energética tiene un frecuente aparición en el dominio público, intensamente discutida en relación a la economía, competitividad industrial y seguridad energética así como el calentamiento global y el cambio climático (Industrial energy efficiency: Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry, 1997). La eficiencia energética, en general se refiere a la *proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía*[16] (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación NTC-ISO 50001, 2011), mejor eficiencia energética desde la perspectiva de procesos industriales significara utilizar menos energía para producir la misma cantidad de salidas útiles de un proceso, principalmente un término ingenieril, la definición se ha extendido para abarcar medidas económicas.

2.2.2. Indicadores de Eficiencia Energética

Tradicionalmente las medidas de desempeño consideradas en la manufactura han sido factores en relación a la calidad, el costo, el tiempo de entrega y la seguridad o pertinencia. (May, y otros, 2013). El auge de la eficiencia energética ha integrado este componente como otra dimensión de las medidas tradicionales de rendimiento en la manufactura, principalmente en las industrias energéticamente intensivas. La identificación de los indicadores claves de rendimiento o KPI por sus siglas en inglés (Key Performance Indicators[17]) (Parmenter, 2010) han tomado mayor protagonismo debido a que muchos rendimientos organizacionales son medidos mediante indicadores.

En esta dirección el primer paso para la gestión eficaz de la eficiencia energética en el marco de la administración energética es el análisis del rendimiento y eficiencia de equipos, procesos, fábricas y empresas enteras. En esta metodología toma relevancia el establecimiento de la Línea de Base Energética como paso inicial en establecer el potencial de optimización de los elementos productivos y el estado general de la planta y sus respectivas medidas de eficiencia energética en relación al consumo energético, con el objetivo de diagnosticar la eficacia y eficiencia del funcionamiento actual.

En consecuencia, es esencial para todas las organizaciones contar con un sistema confiable para hacerle frente a la eficiencia energética en la gestión de la producción y el rendimiento después de las mejoras generadas a partir de progresos en eficiencia energética. Los indicadores de

[16] Definición descrita en la norma internacional ISO-50001 referencia para Colombia

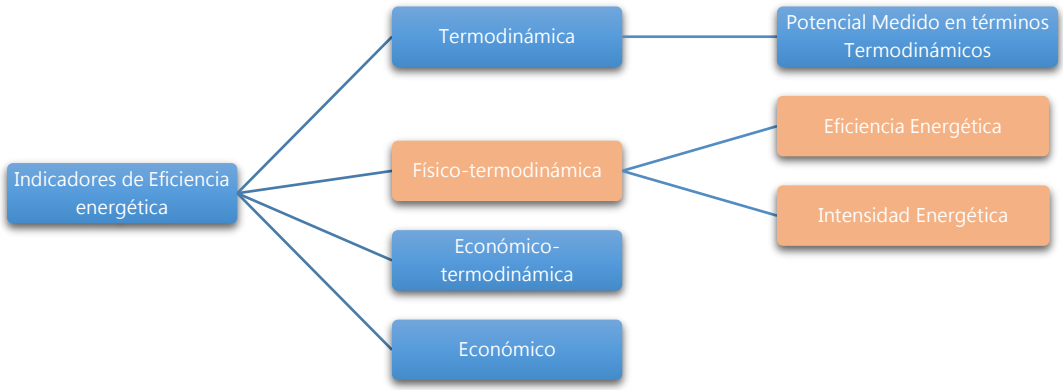
[17] En ingles, Key Performance indicator, "*representan una serie de medidas enfocadas en los aspectos del rendimiento organizacional que son más críticos para el éxito actual y futuro de la organización", "Texto en Ingles"*

desempeño son necesarios más allá de los datos observados para evaluar las actuaciones de eficiencia energética.

Una revisión exhaustiva y critica de los diferentes indicadores de eficiencia energética se puede encontrar en, (What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues, 1996) análisis que proporciona una clasificación en cuatro grupos principales, descritos a continuación:

• Termodinámica: tanto la salida del proceso como la energía ingresada/utilizada se derivan de la ciencia de la termodinámica.
• Físico-termodinámica: indicadores híbridos donde la energía ingresada/utilizada se mide en unidades termodinámicas, pero las salidas se miden en unidades físicas.
• Económico-termodinámica: En lugar de utilizar unidades físicas, la salida es medida por precios del mercado, mientras que la energía ingresada/utilizada se encuentra todavía en unidades termodinámicas.
• Económico: Tanto la entrada de energía y la salida del proceso se enumeran en términos monetarios.

Figura 3. Indicadores Eficiencia Energética



Fuente Autor – Adaptado de (What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues, 1996)

Los dos primeros grupos son fieles a la definición ingenieril de la eficiencia energética, mientras que los indicadores económicos se utilizan generalmente en una escala macro para la formulación de políticas, por ejemplo, la tasa del costo de la energía: en el PIB para un sector específico de la industria.

Aproximación físico-Termodinámica

A pesar de determinar la potencia útil en términos del contenido calórico o potencial de trabajo, la aproximación termodinámica presenta algunas dificultades reflejando el uso final requerido por consumidores respecto a la energía utilizada y unidades finales generadas. Contrario a esto la aproximación físico-termodinámica permite reflejar las salidas del proceso mediante tasas de eficiencia que utilizan unidades físicas en vez de termodinámicas (kg, unidades, etc.), mientras que para las entradas, las medidas térmicas aún son implementadas, siendo una gran ventaja ya que aún es posible dar una medida objetiva del rendimiento del proceso. Además de esto las medidas físicas debido a su valor en el mercado pueden ser convertidas posteriormente en términos económicos, facilitando análisis longitudinales desde otra perspectiva. Estas características principales hacen que esta aproximación y sus medidas de rendimiento productivo sean ampliamente utilizadas en los sectores industriales, residenciales, comerciales.

Específicamente existen dos perspectivas analíticas de la aproximación físico-termodinámica en la construcción de indicadores de eficiencia energética, ambas reflejan la interacción de una parte física y una termodinámica pero su aproximación inversa deriva un análisis posterior enfocado en las necesidades de optimización específica del usuario y del sector de la economía (Microeconomía y Macroeconomía), debido al nivel de agregación a lo largo de actividades económicas en niveles superiores de análisis.

El primer acercamiento es conocido como de Eficiencia Energética en estricta concordancia con la aproximación físico-termodinámica, relaciona la tasa a la cual se producen o generar bienes en relación a la energía utilizada, refiriéndose a tecnologías o servicios energéticos específicos, (ej. Kilómetros por galón o Unidades por kWh) esta aproximación tiene mayor acogida desde la perspectiva productiva como indicador productivo ya que describe la cantidad de productos por valores energéticos usados, Véase Ecuación 2. Medida Físico-Termodinámica de Eficiencia Energética.

El segundo acercamiento es el indicador de Intensidad Energética, que es el consumo de energía por unidad o servicio obtenido, siendo el inverso de la medida físico-termodinámica (ej. kWh/Unidad producida) también es llamado Consumo de Energía Especifico o *Specific Energy Consumption* por sus siglas en inglés SEC, Véase Ecuación 1. Medida Físico-Termodinámica de Intensidad Energética.

El uso de este indicador puede ser encontrado en una gran variedad de casos industriales, la industria del hierro, acero, aluminio, cemento así como otras industrias energéticamente intensivas (International comparisons of energy efficiency-methodologies for the manufacturing industry, 1997), a continuación se realiza un cuadro comparativo entre las los

indicadores de eficiencia energética Fisico-Termodinamicas, comparando el concepto de Intensidad Energética con el de Eficiencia Energética.

Tabla 2. Indicadores de eficiencia energética aproximación Físico-Termodinámica

Ecuación 1. Medida Físico- Termodinámica de Intensidad Energética $$\mathbf{SEC} = \frac{\mathbf{Energía\ ingresada\ al\ proceso}}{\mathbf{Salida\ fisica\ del\ proceso}}$$ Fuente Autor – Adaptado **(Li, 2015)** • Indicador de Intensidad Energética *(Energy intensity indicator)* **(Li, 2015)** • Consumo Energético Especifico *(SEC Specific Energy Consumption)* **(DOE, 2014)** Aproximación Energética de la eficiencia del proceso de manufactura, en relación a la utilización del recurso energético. Ej. kWh/Unidad	Ecuación 2. Medida Físico-Termodinámica de Eficiencia Energética $$\mathbf{EE} = \frac{\mathbf{Salida\ fisica\ del\ proceso}}{\mathbf{Energía\ ingresada\ al\ proceso}}$$ Fuente Autor – Adaptado **(Li, 2015)** • Medida Físico-Termodinámica de Eficiencia Energética **(Li, 2015)** • Aproximación Físico-Termodinámica **(DOE, 2014)** Aproximación Productiva de la eficiencia del proceso de manufactura, en relación a la salida física del proceso. Ej. Unidad/kWh

2.2.3. Parámetros energía

La Tabla 3. Parámetros Energéticos relaciona los parámetros involucrados en el análisis energético del circuito trifásico de Corriente Alterna-CA en el sistema productivo, se describen conceptualmente y relaciona la metodología matemática para realizar su cálculo, apoyado de la metodología utilizada por el dispositivo ABB ANR96-230 Analizador Eléctrico Multifunción instalado en la organización, como instrumento diseñado para monitorear, almacenar y analizar variables energéticas.

Tabla 3. Parámetros Energéticos

Parámetro	Descripción	Unidad Relacionada	Formulación
Voltaje L-N RMS	Raíz cuadrada de la media aritmética del cuadrado de los voltajes instantáneos, como valor efectivo del voltaje variable CA. El voltaje como diferencial de potencia o fuerza electromotriz necesaria para transportar corriente en un campo eléctrico entre dos puntos determinados	Voltio: Unidad de fuerza electromotriz o diferencial de potencia a lo largo de un conductor cuando una corriente de 1 amperio disipa 1 watt de potencia.	$V_{L_{iN}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{P} v_{L_{iN}k}^2}{P}}$
Voltaje Línea			$V_{L_{ij}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{P} v_{L_{ij}k}^2}{P}}$
Voltaje del sistema 3 fases RMS	Media aritmética de los valores de Voltajes RMS Línea a Línea		$V3\Phi = \frac{V_{L_{12}} + V_{L_{23}} + V_{L_{31}}}{3}$
Corriente RMS	Raíz cuadrada de la media aritmética del cuadrado de las corrientes instantáneas, como valor efectivo de la corriente variable CA. La corriente eléctrica es el flujo o movimiento de partículas cargadas, como electrones o iones a través de un medio	Amperio: equivalente a 1 Coulomb/s es la unidad de corriente eléctrica usada para medir la tasa a la cual la corriente eléctrica fluye.	$I_{L_i} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{P} i_{L_{iN}k}^2}{P}}$
Corriente del sistema 3 fases RMS	Media aritmética de los valores individuales de Corriente RMS		$I3\Phi = \frac{I_{L_1} + I_{L_2} + I_{L_3}}{3}$
Factor de Potencia	Relación de Potencia Activa y Potencia Aparente en un sistema de corriente alterna, determina cuan reactiva o resistiva es la carga	Como unidad adimensional si valor oscila en el intervalo, -1 y 1,(-1 <0 cuando la potencia fluye en dirección contraria a la carga)	Medida en las tres fases del circuito CA-Corriente alterna $PF_{Li} = \frac{W_{L_i}}{A_{L_i}}$
Potencia (Eléctrica)	Termino genérico que describe la tasa a la cual la energía eléctrica llevada a cabo transferida en circuito eléctrico	Vatio: Unidad de Potencia equivalente al trabajo realizado cuando una corriente de 1 amperio fluye a través de un diferencial de potencia de 1 voltio	Potencia aparente-Potencia activa-Potencia Reactiva
Potencia Aparente	La potencia generada o consumida por un dispositivo debido a sus componentes activos y reactivos	Voltamperios VA, Unidad que expresa la potencia total en un circuito CA, como la multiplicación del voltaje y la corriente.	$A_{L_i} = V_{L_{in}} \cdot I_{L_{in}}$
Potencia Aparente 3 fases	Sumatoria algebraica de las potencias aparentes de las tres fases presentes en un circuito CA		$A3\Phi = A_{L1} + A_{L2} + A_{L3}$
Potencia Activa	Potencia disipada por la fuente en un circuito realizando un trabajo.	Vatio: Unidad de Potencia equivalente al trabajo realizado cuando una corriente de 1 amperio fluye a través de un diferencial de potencia de 1 voltio	$W_{L_i} = \frac{\sum_{k=1}^{P} v_{L_{iN}k} \cdot i_{L_ik}}{P}$
Potencia Activa 3 fases	Sumatoria algebraica de las potencias activas de las tres fases presentes en un circuito CA		$W3\Phi = W_{L1} + W_{L2} + W_{L3}$

Tabla 3. Parámetros Energéticos (Continuación)

Parámetro	Descripción	Unidad Relacionada	Formulación
Potencia Reactiva	Cantidad de potencia no utilizada en un sistema eléctrico (trabajo), absorbida por elementos capacitivos o inductivos componentes reactivos inductores o capacitores, existe cuando el voltaje y la corriente no están en fase	Voltamperios reactivos (var) como la unidad de potencia en un circuito fluyendo hacia una carga reactiva.	$Q_{L_i} = \frac{\sum_{k=1}^{P} v_{L_{iNk}} \cdot i_{L_{i(k-\Delta)}}}{P}$
Potencia Reactiva 3 Fases	Sumatoria algebraica de las potencias reactivas de las tres fases presentes en un circuito CA		$Q3\Phi = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3}$
Frecuencia	Tasa de repetición de una señal periódica utilizada para representar o procesar una señal de comunicación	Hertz, Hz, como medida de frecuencia en donde el número de Hertz mide el número de ocurrencias de la señal medida por segundo representando un ciclo	
Energía Activa Adquirida sistema 3 fases	Monitoreo y registro acumulado de la energía adquirida por el sistema en un periodo de observación determinado	kWh+	$Wh3\Phi = \int_0^{\infty} Wh_3 \Phi dt$
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	Monitoreo y registro acumulado de la energía reactiva que induce una fuerza electromagnética por inducción en el sistema en un periodo de observación determinado	kVArh+	$Wh_{Li} = \int_0^{\infty} W_{Li} dt$
Energía activa transferida sistema 3 fases	Monitoreo y registro acumulado por el sistema en un periodo de observación determinado	kWh-	$Qh3\Phi = \int_0^{\infty} Qh_3 \Phi dt$
Energía Reactiva Capacitiva sistema 3 fases	Monitoreo y registro acumulado de la energía reactiva capacitiva acumulada por el sistema en un periodo de observación determinado	kVArh-	$Qh_{Li} = \int_0^{\infty} Q_{Li} dt$
Distorsión Harmónica Total Voltaje	Son distorsiones de la forma de onda normal de la corriente eléctrica o el voltaje, Causada por las características de trasferencia no lineales de un dispositivo o circuito.	Unidad adimensional expresada en porcentaje (%), en referencia a la proporción de la distorsión frente a la señal fundamental	$H(k) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) - j \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right)$ $for\ 0 \leq k \leq N-1\ n = 64$
Distorsión Harmónica Total Corriente			

Fuente Autor

2.3. TECNOLOGÍA DEL MOLDEO POR INYECCIÓN

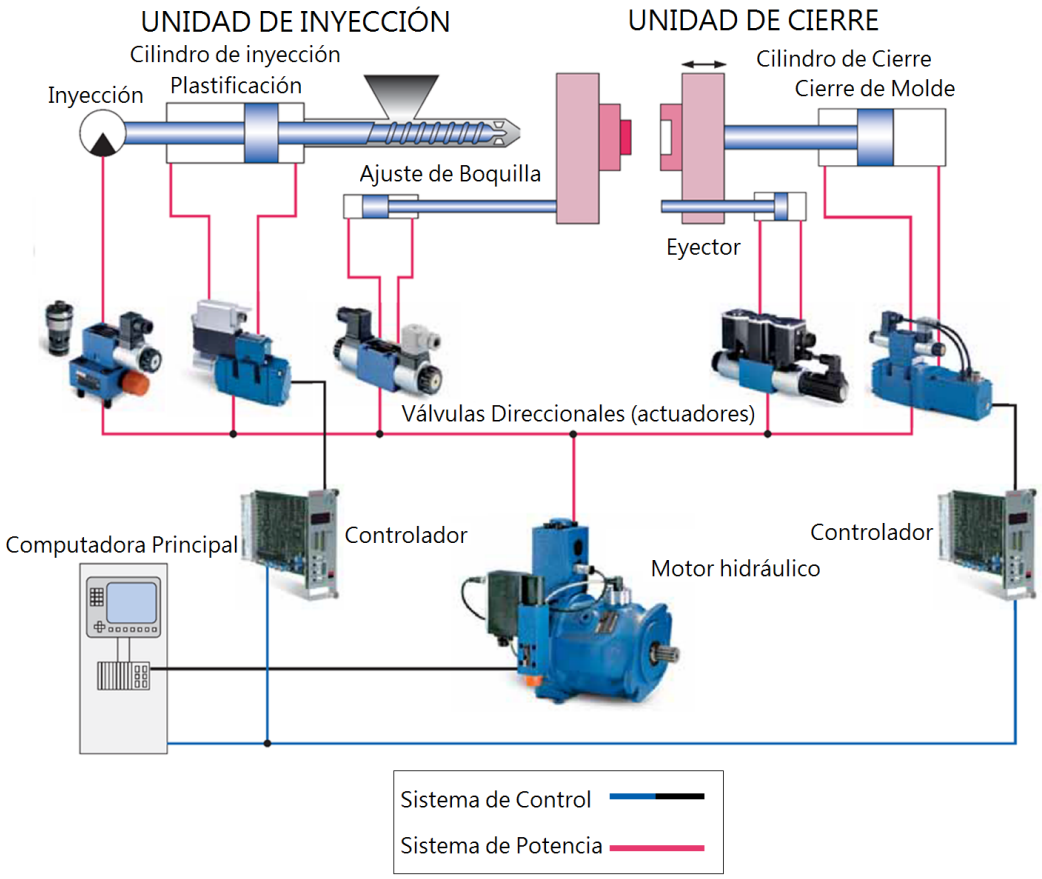
El moldeo por inyección es un proceso repetitivo llevado a cabo en una Maquina de Moldeo por Inyección en la cual se funde un polímero en estado sólido en una mezcla física y térmicamente homogénea para luego ser inyectado (forzado) en un molde de diversas cavidades, donde sostenido bajo presión es removido luego de su solidificación, duplicando la forma del molde. (Rosato, y otros, 2000). El proceso de moldeo por inyección en su forma más simple ha estado presente como forma de manufactura de productos plásticos por más de 150 años[18] (Kutz, 2011) Los avances más significativos fueron hechos desde los años 60 con la implementación de la máquina de moldeo por inyección con tornillo sinfín o reciproco así como el reemplazo de sistemas hidráulicos por netamente eléctricos. (Blanco Álvarez, 2013)

2.3.1. Máquina de moldeo por inyección

Una máquina de Moldeo por Inyección consiste de 4 componentes, dos sistemas y dos unidades (Potsch, et al., 1995); inicialmente el Sistema de Control se compone por el computador central y los diferentes reguladores encargados de 3 funciones principales, el control secuencial de la maquinaria, el control de las variables de la máquina y por ultimo funciones supervisoras como el monitoreo y análisis estadístico y diagnóstico y detección de fallas (Ke, 2008), el segundo sistema es el Sistema de Potencia -hidráulico, eléctrico o hibrido-, encargado de suministrar y distribuir potencia a los componentes de la máquina, las maquinas hidráulicas están equipadas con una bomba centralizada, a diferencia de aquellas operadas eléctricamente las cuales utilizan servomotores independientes para cada movimiento, las hibridas combinan las dos tecnologías para el movimiento, demostrando potenciales de ahorro energético debido al aumento de en la precisión de los movimientos mecánicos y la distribución eficiente de energía a lo largo de la máquina, la descripción de la integración de los dos sistemas en una maquina hidráulica se muestra en la Figura 4. Sistemas de potencia (Hidráulico) y Sistema de Control (Computadora central y controladores).

[18] La sociedad de ingenieros plásticos, SPE por sus siglas en ingles *Society of Plastics Engineers* en 1968 celebró el centenario de la primero bola de billar moldeada por inyección por J.W. Hiatt

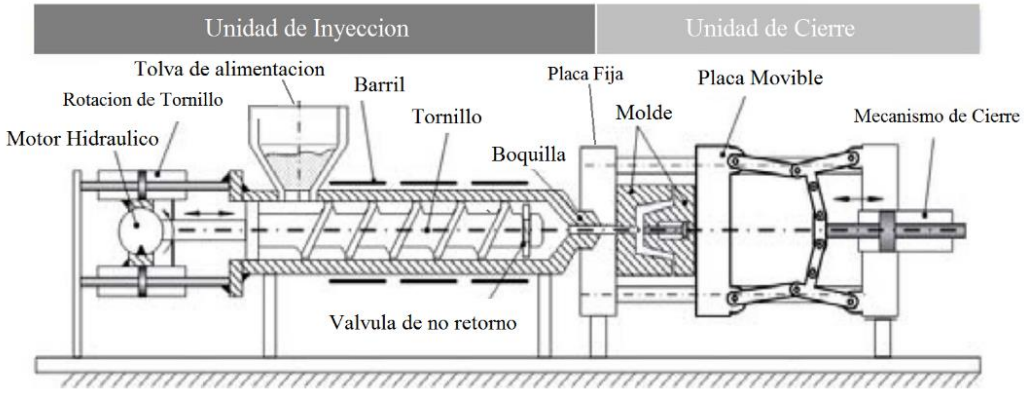
Figura 4. Sistemas de potencia y Sistema de Control - (Hidráulico)



Fuente Autor – Adaptado de (Rexroth Bosch Group - The Rexroth Applications Centers)

En un segundo nivel las dos unidades funcionales, la Unidad de Inyección y la Unidad de Cierre; 3. La unidad de inyección donde el material es preparado para ser inyectado en el molde, allí el componente principal es el tornillo sin fin donde se plastifica el material, la unidad la conforman también la Tolva de alimentación, el Barril o cilindro, y medios para la rotación del tornillo e inyección, una Bomba hidráulica o motores eléctricos. 4. La unidad de cierre, donde bajo sujeción el plástico es capturado en el molde bajo condiciones de temperatura y presión para formar el producto terminado, allí el componente principal es el sistema hidráulico o eléctrico de sujeción compuesto por la placa fija y la placa movible, lo complementan las barras del mecanismo, el sistema de refrigeración, el molde y el sistema de eyección de las piezas. Descritos en la Figura 5. Unidad de inyección y de Cierre

Figura 5. Unidad de inyección y de Cierre



Fuente Autor – Adaptado de (Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures, 2014)

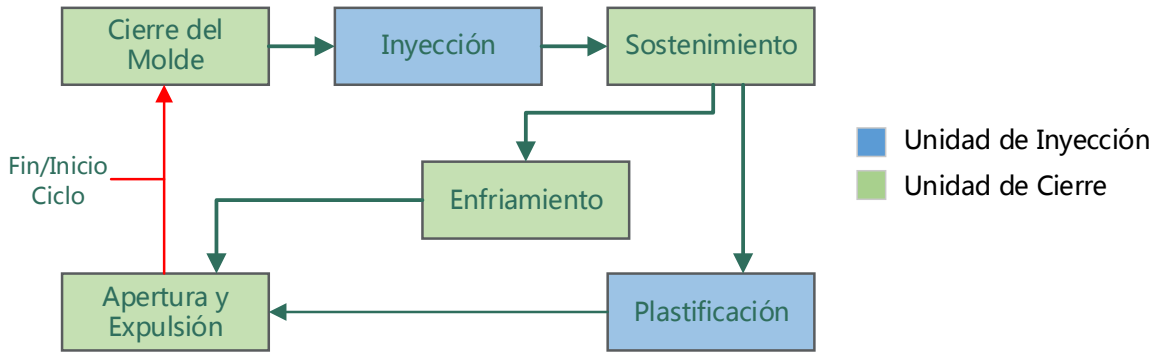
2.3.2. Molde de Inyección

El molde de inyección como herramienta independiente de la máquina de moldeo por inyección trabaja en conjunto con esta para la producción de los productos por el método de inyección, debido a sus propiedades intercambiables cada molde de inyección puede ser instalado en una máquina de moldeo por inyección, guardando características y propiedades afines, para llevar a cabo el Ciclo de inyección, cada molde de inyección contiene la forma deseada del producto inyectado y en función a la construcción del mismo, puede contener diversas *cavidades de inyección*, en referencia a la cantidad de réplicas del mismo producto que pueden ser inyectadas en el mismo Ciclo de Inyección. Los sistemas de producción que llevan a cabo el moldeo por inyección suelen tener una cantidad superior de moldes de inyección en relación a las máquinas de moldeo por inyección, como muestra de la versatilidad del proceso industrial, permitiéndole inyectar varios productos en una sola maquina.

2.3.3. Ciclo de Inyección

El proceso de moldeo por inyección es usado tanto en polímeros termoplásticos como termoestables, la inyección es un proceso conformado por 6 fases secuenciales denominadas Ciclo de Inyección, que transcurren después de la etapa de alistamiento de la máquina, en orden incluyen 1. Fase de Cierre, el 2. Fase de Inyección, 3. Fase de sostenimiento, 4. La fase de plastificación, 5. Fase de enfriamiento y finalmente 6. Fase de expulsión del producto elaborado (Harper, 2002) (Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures, 2014) (CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO.LTD, 2010).

Figura 6. Fases en el Ciclo de Inyección



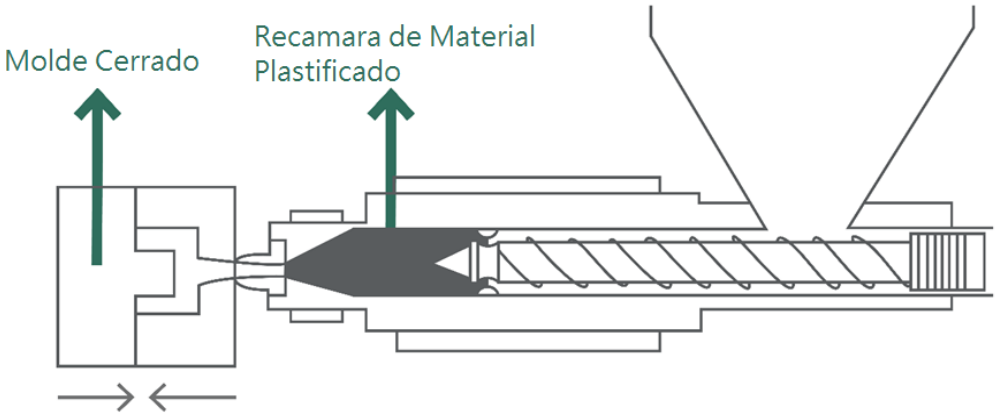
Fuente Autor

Previo al inicio del Ciclo de inyección la maquina se encuentra en una etapa de alistamiento, donde la temperatura de los componentes de mayor incidencia térmica está siendo elevada, en el tornillo y barril de inyección la temperatura se elevara a Temperatura de Fundición del material utilizado, con el objetivo de plastificarlo y preparar su inyección, el molde de inyección se programa a la temperatura inicial de enfriamiento y la maquina se dispone a iniciar los Ciclos de Inyección una vez se han completado las preparaciones en el tiempo de alistamiento.

2.3.3.1. Fase de Cierre

Luego de plastificarse el material en el tornillo de inyección y llenarse la recamara de material plastificado inicia el Ciclo de Inyección, el molde de inyección se cierra en 3 tiempos, las dos partes que lo componen bajo presión se juntan previniendo que se escape el material fundido de la inyección, primero con alta velocidad y baja presión, luego se disminuye la velocidad y se mantiene la baja presión hasta que las dos partes del molde hacen contacto, finalmente se aplica la presión necesaria para alcanzar la fuerza de cierre requerida. (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

Figura 7. Fase de Cierre – Cierre del Molde de Inyección

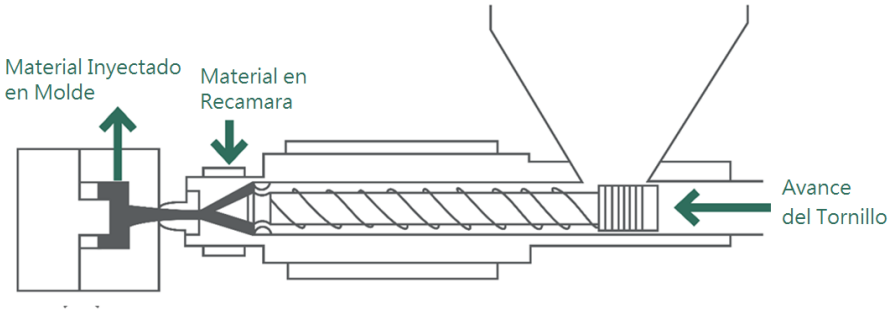


Fuente Autor - Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

2.3.3.2. Fase de Inyección

Tras haberse cerrado el molde, la fase de inyección inicia, la recámara de material plastificado posterior a la Zona de Dosificación del tornillo de inyección será desocupada, el tornillo actuando como pistón ejerce la Presión de Inyección, en la primera etapa de inyección la de Llenado (First Stage Filling) inyectando en el molde entre el 95% y 98% del material fundido a través de la boquilla, en esta fase es crucial la completa y previa fundición del material así como el correcto ajuste del molde en la Unidad de Cierre previendo la presencia de rebaba en el producto terminado.

Figura 8. Fase de Inyección, Inyección del material plastificado en el molde

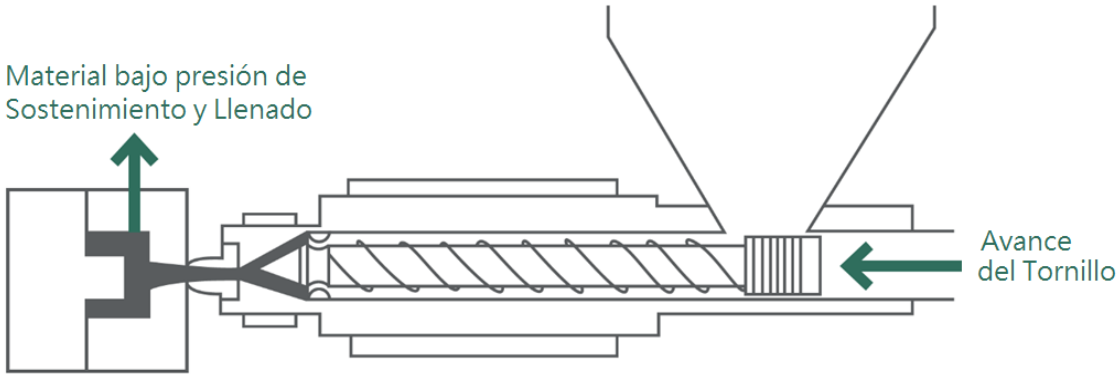


Fuente Autor - Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

2.3.3.3. Fase de Sostenimiento

La fase de sostenimiento inicia con el ingreso del material al molde de inyección, en contraprestación a la presión ejercida previamente, se aplica la Presión de Sostenimiento (Holding Pressure) en la Unidad de Cierre por medio del cierre del molde, asegurando la correcta distribución del material en este, así mismo con el objetivo de compensar la contracción del material inyectado del componente moldeado y asegurar que alcance todas las cavidades del molde de forma entera, se aplica la presión de llenado (Packing pressure) en la segunda etapa del proceso de Llenado (Second Stage Packing), la cual corresponde a entre el 2% y 5% restante del volumen de inyección; Con el objetivo de asegurar optima eficiencia y consistencia es necesario realizar la transferencia entre la primera y segunda etapa de llenado antes de que el molde este completamente lleno (Second Stage Transfer).

Figura 9. Fase de Sostenimiento, Aplicación de Presión de sostenimiento y llenado

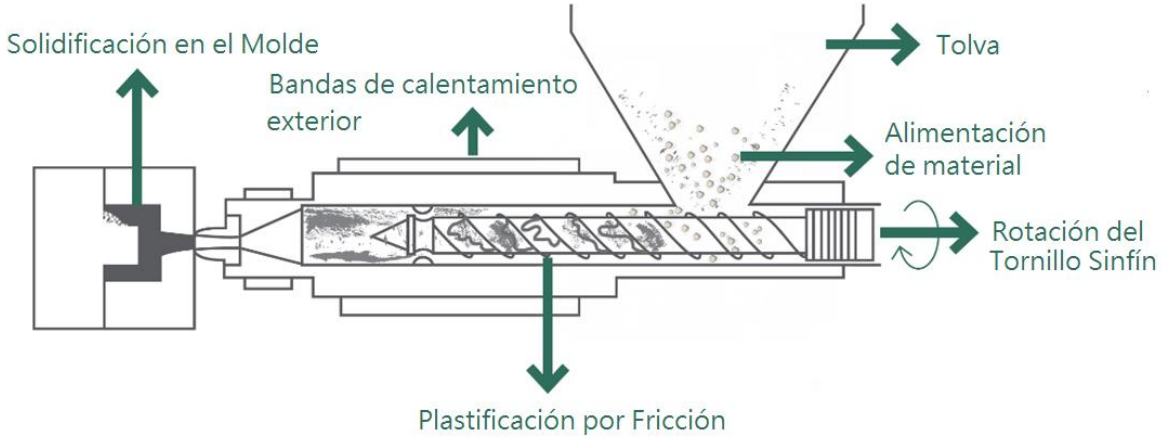


Fuente Autor - Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

2.3.3.4. Fase de Plastificación

La fase de plastificación o Alimentación sucede en simultaneo a la Fase de enfriamiento en la unidad de inyección, el material granulado alimentado en la tolva es plastificado en el tornillo sin fin, el calor necesario para la fundición es proporcionado en un 60% por la fricción térmica generada en la rotación del tornillo y en un 40% por la conducción térmica generada por el calentamiento externo proporcionado por las bandas de calentamiento exterior (*External Band Heaters)* (Stitz, et al., 2004)

Figura 10. Fase de Plastificación, Plastificación del material en tornillo sinfín

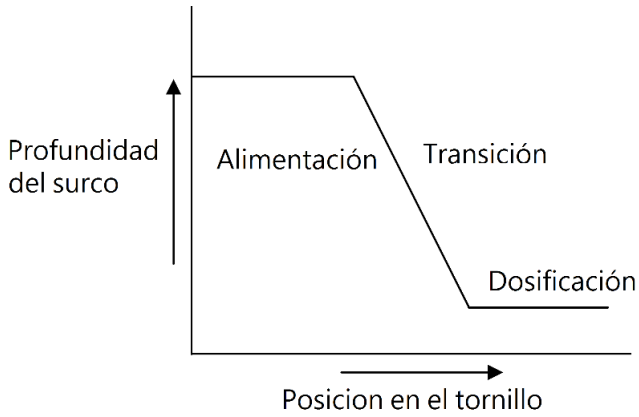


Fuente Autor – Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

Tornillo de Inyección

El tornillo de inyección cumple dos funciones en la unidad de inyección, como plastificador, fundiendo, plastificando, transportando y presurizando el material y como un pistón dosificando la inyección en el molde una vez se ha llenado la recámara de material plastificado (Brydson, 1999), La distribución longitudinal del material plastificado en el tornillo de inyección responde a una función de Posición vs Profundidad, con la disminución de profundidad de los surcos, el material realiza una transición desde la Zona de Alimentación a la Zona de Dosificación Figura11. Profundidad del surco vs posición en el tornillo

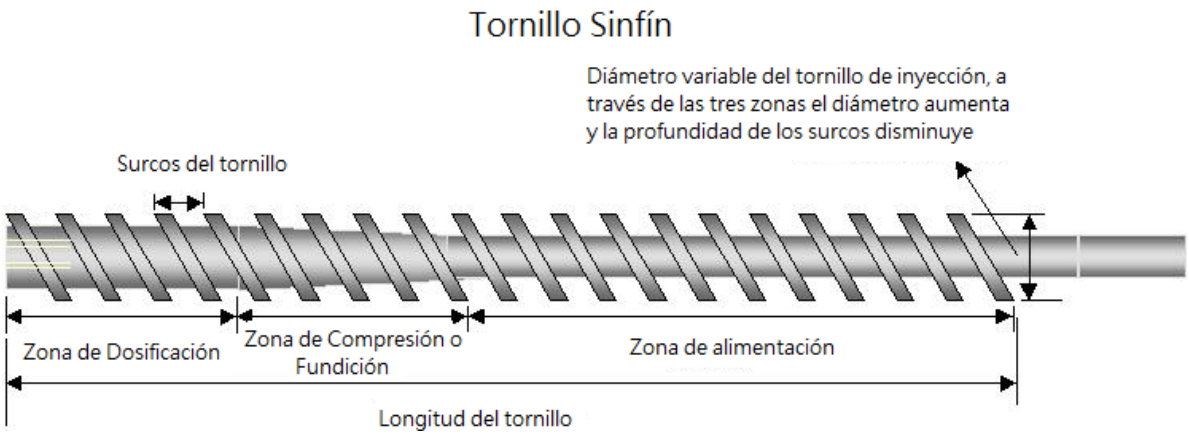
Figura 11. Profundidad y Posición surcos tornillo de inyección



Fuente Autor – Adaptado de (Kutz, 2011)

La Zona de alimentación corresponde a cerca del 60% de la longitud total del tornillo (Rosato, y otros, 2000), recibe el material de la tolva de alimentación y lo transporta hacia la Zona de fundición, extrayendo el aire presente e iniciando la fricción térmica, aquí se disminuye el volumen del plástico, ocasionando la convección térmica, y se inicia el proceso de plastificación por fricción soportado por las Bandas de calentamiento exterior, finalmente en la Zona de dosificación, cerca del 20% de la longitud del tornillo (Rosato, y otros, 2000), se procede al proceso de dosificación, Figura 12. Zonas del tornillo Sinfín

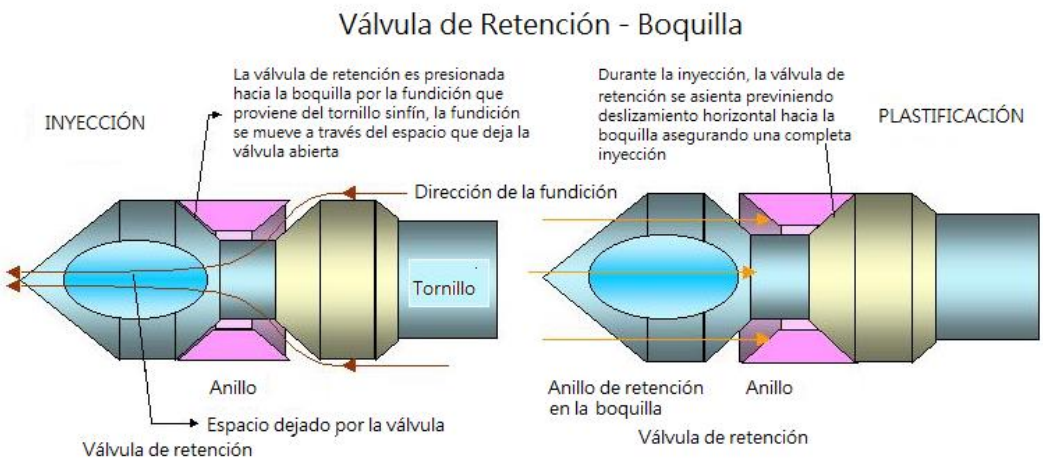
Figura 12. Zonas del tornillo Sinfín



Fuente Autor - Adaptado de (C. Bolur)

Tras la Zona de dosificación en la punta del tornillo se ubica una válvula de un solo sentido (Válvula de retención) que lleva el material solo hacia la boquilla, la fuerza del material plastificado retrae el tornillo en sentido contrario a la boquilla a medida que gira, creando una cámara llena de material plastificado maleable frente del tornillo, cuando existe suficiente material fundido para la inyección el tornillo se detiene y se retrae para descomprimir el material; para inyectarlo en el molde la válvula de retención se cierra y el tornillo es empujado hidráulicamente por el cilindro de inyección, esto envía el material fundido a través de la boquilla en la unidad de inyección hacia el molde de inyección, en la unidad de cierre, Figura 13. Válvula de Retención – Boquilla

Figura 13. Válvula de Retención - Boquilla

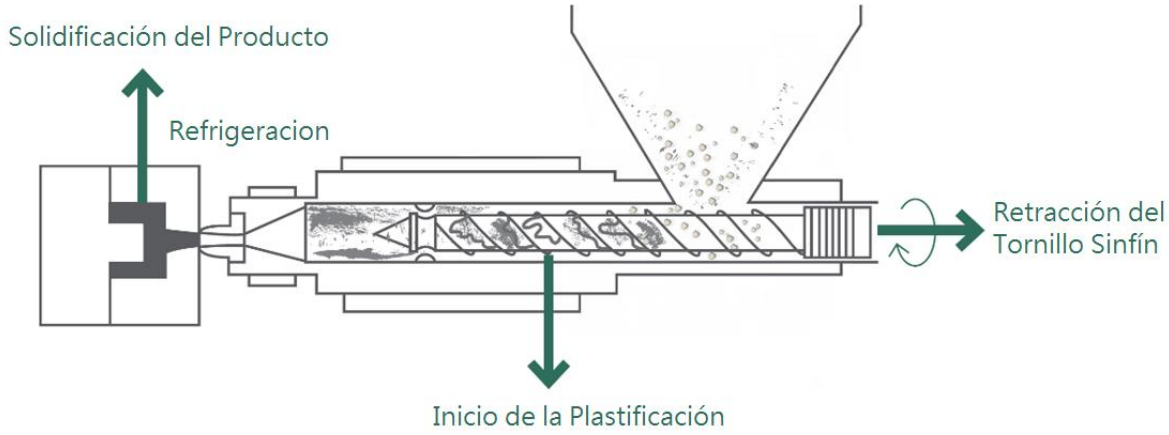


Fuente Autor - Adaptado de (C. Bolur)

2.3.3.5. Fase de Enfriamiento

Luego de la solidificación del plástico en el molde de inyección y la detención de la presión ejercida, el tornillo sinfín empieza a rotar de nuevo fundiendo material para la siguiente inyección, en simultaneo en La Fase de Enfriamiento, el sistema de refrigeración conectado al molde, una serie de surcos prediseñados en este que no intervienen con la distribución de material, permiten la refrigeración del producto mediante un agente externo, agua o líquido refrigerante, que circula a través de este de forma constante disipando el calor generado.

Figura 14. Fase de Enfriamiento, Enfriamiento y plastificación del material

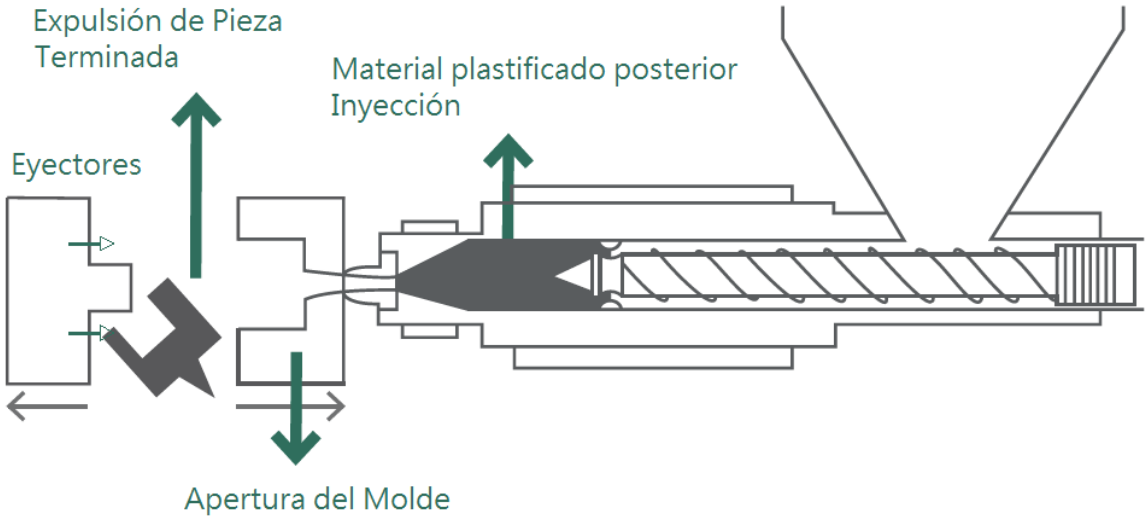


Fuente Autor – Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

2.3.3.6. Fase de Expulsión

La fase de expulsión es la fase final del Ciclo de Inyección, posterior a la terminación del enfriamiento de la pieza en el molde de inyección, la Unidad de Cierre procede con la apertura del molde y expulsión de la pieza con la asistencia de eyectores, un dispositivo mecánico accionado por el sistema hidráulico que despega la pieza del molde.

Figura 15. Fase de Expulsión, Apertura y expulsión de la pieza inyectada

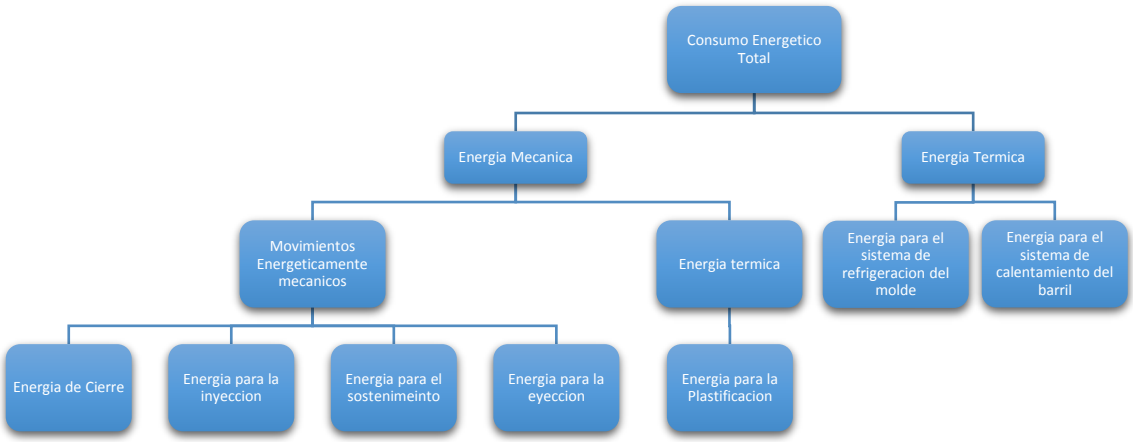


Fuente Autor – Adaptado de (Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo, 2009)

2.3.4. Uso energético en el moldeo por inyección

El moldeo por inyección es un proceso energéticamente intensivo, debido al enfoque central de la operación, la fundición de polímeros en estado sólido y posterior solidificación de la sustancia plastificada en moldes. De acuerdo a (Ke, 2008) los subsistemas descritos en la Figura 16. Distribución Energética moldeo por inyección, representan una caracterización de los subniveles del consumo energético en la operación de la máquina, en concordancia con la operación incluida en cada una de las fases que encierran el Ciclo de Inyección.

Figura 16. Distribución Energética moldeo por inyección



Fuente Autor - Adaptado de (Ke, 2008)

El consumo energético total es dividido en 3 niveles según la transformación energética sufrida y el destino de la energía en los sistemas o unidades de la máquina de moldeo por inyección, en la primera ramificación, Energía Mecánica se incluyen dos categorías, la primera es la utilizada para movimientos mecánicos como el cierre, la inyección, sostenimiento y eyección, la segunda categoría incluye el consumo térmico de la Energía Mecánica en relación a la relevancia de los movimientos mecánicos en acciones térmicas tales como el calentamiento y plastificación por fricción del plástico en el tornillo de inyección.

La segunda ramificación inicial, Energía Térmica incluye la energía consumida para calentar el barril donde la energía eléctrica se convierte en energía térmica y la energía consumida para el enfriamiento del molde para mantener la temperatura del refrigerante requerido (Ke, 2008). En relación a la energía consumida por los instrumentos de control, computador y sensores su presencia en esta descripción es pasada por alto, según (Ke, 2008) su optimización es más complicada debido a la inevitable necesidad de su existencia y la imperceptible cantidad de energía utilizada en relación a la energía térmica y mecánica, donde las variaciones térmicas tienen los rangos de control más estrictos, debido a la estabilidad necesaria para llevar a cabo el procedimiento de plastificación.

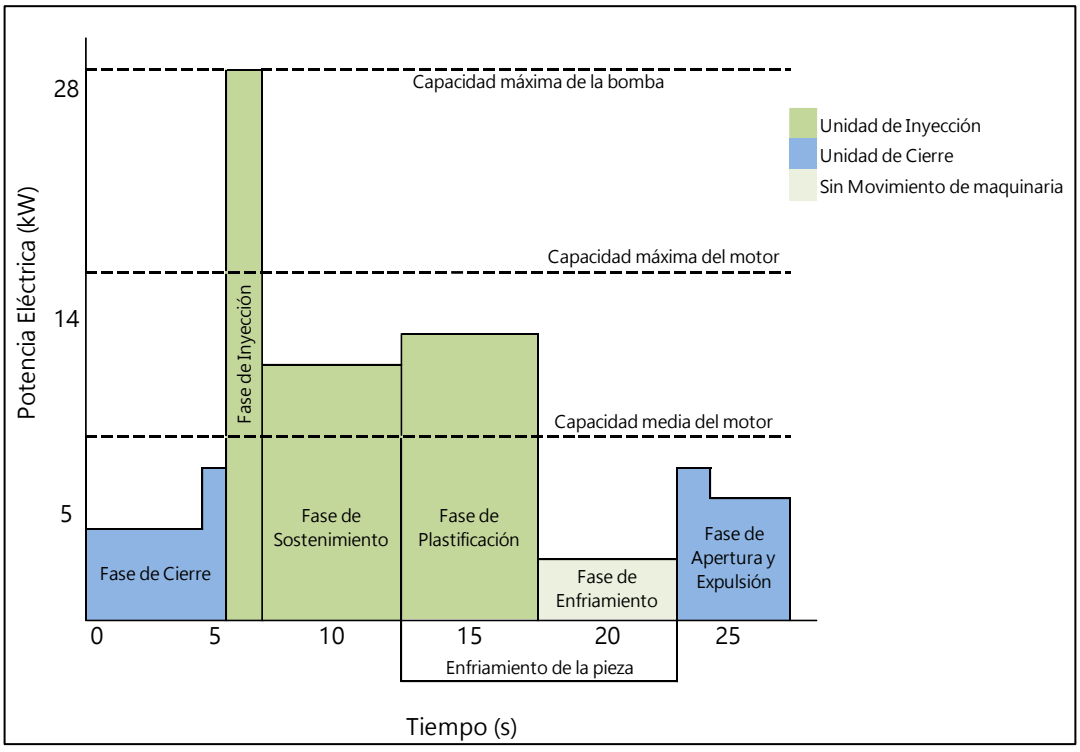
La oportunidad de intervención desde la perspectiva de la eficiencia energética es perceptiblemente aquellos subsistemas relacionados con la energía térmica, debido a la necesidad de preservar los movimientos mecánicos para completar el Ciclo de inyección por ende la energía utilizada para estos. La principal causa del consumo elevado de los subsistemas térmicos se deba a la configuración de los sistemas de control y de la máquina, en relación a las

variables del proceso, como temperaturas del barril, la velocidad del tornillo de inyección, presión de sostenimiento y la temperatura del molde.

2.3.5. Ciclo energético de Inyección

Las fases secuenciales del moldeo por inyección son la descripción productiva del Ciclo de Inyección. Siendo un proceso repetitivo describen el grupo de actividades necesarias para llevar a cabo la inyección de un producto, energéticamente cada una de estas actividades reflejan una variación del consumo energético en la máquina de moldeo por inyección, al ser la mínima expresión de un grupo ordenado de actividades en conjunto de la operación de la maquina su análisis permite describir a fondo las características del ciclo para su optimización (Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures, 2014), la Figura17. Potencia Eléctrica Ciclo de Inyección describe un ciclo de inyección y la energía utilizada por las Fases del Ciclo de Inyección como equivalencia energética de la operación repetitiva, la Unidad de Inyección tiene el mayor requerimiento energético debido a que incluye dos movimientos mecánicos del tornillo de inyección. En la Unidad de cierre el requerimiento energético se presenta gracias a las necesidades de sostenimiento y manejo del molde de inyección.

Figura 17. Potencia Eléctrica Ciclo de Inyección



Adaptado de (Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures, 2014)

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL SISTEMA PRODUCTIVO

La metodología de análisis del sistema productivo utilizada fue contemplada como una estrategia de fácil aplicación y reproducibilidad en organizaciones energéticamente intensivas. Desarrollada en industria de manufactura de productos plásticos, en cuatro fases secuenciales busca establecer un método preciso y organizado que permita identificar y caracterizar cualquier industria y que sirva de insumo para la construcción de un modelo matemático de optimización que permita plantear y construir políticas energéticas en relación a la mejora de la eficiencia energética del sistema productivo.

Con la Descripción de la Unidad de Análisis se da apertura a la Metodología de Análisis del Sistema Productivo, en esta sección se caracteriza la organización desde 8 perspectivas que permiten familiarizarse con las actividades productivas y comerciales de la organización, con un enfoque especializado en la descripción productiva y energética, como dirección del análisis descrito y que permite habituarse a las actividades de la organización.

Tras la descripción de la unidad de análisis, se procede a definir las variables productivas en los factores de producción presentes que se verán reflejadas en las actividades productivas descritas y de forma específica se establecen las variables energéticas a monitorear como medida de análisis puntual del análisis dual de influencia productiva.

Con las variables del sistema productivo identificadas, se utilizó la Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP diseñada, que en 3 niveles de análisis y bajo una estructura especifica busca establecer una aproximación adecuada para la estrategia de observación y recolección de información necesaria de cualquier sistema energéticamente intensivo, de tal manera que permita identificar y orientar los datos obtenidos para su posterior análisis.

Con la implementación de la MORP y después de la recolección y registro de datos productivos y energéticos, la metodología de análisis implementa la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI diseñada, que busca identificar la influencia de las variables de producción en el consumo mediante la evaluación de correlación estadística, para luego utilizar aquellas que mayor influencia energética tengan en el desarrollo de un modelo de programación lineal, contribuyendo a la generación de políticas de gestión energética basadas en la utilización de la energía que brinden a la organización herramientas administrativas para un crecimiento sostenible debido a la mejora de los indicadores de eficiencia energética.

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

Ubicada en la localidad de Kennedy ciudad de Bogotá D.C, Aseo Plast JLH conformada como persona natural ante la cámara de comercio por el propietario Nelson Uriel Rincón Sanabria, es una microempresa[19] familiar encargada de la fabricación de formas y artículos básicos domésticos de plástico, acorde con CIIU Rev. 4 A.C. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2009), su actividad corresponde a 2229 FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS DE PLÁSTICO N.C.P. (No clasificado previamente) y 4649, COMERCIO AL POR MAYOR DE OTROS UTENSILIOS DOMÉSTICOS N.C.P. HOMOLOGADO(S) VERSIÓN 4 AC. (No clasificado previamente), pertenece al Sector industrial secundario o industrial, subsector industrial de transformación; con una antigüedad de 5 años en la línea económica produce productos y accesorios auxiliares para el ensamble de utensilios de limpieza doméstica.

En relación a su tamaño Aseo Plast JLH enfoca sus necesidades en dos aspectos, 1. La adquisición de materia prima 100% reciclada y 2. Consumo de energía eléctrica, debido al intenso y continuo uso de maquinaria de alto requerimiento energético, para el moldeo y molienda del plástico, la administración eficiente del recurso energético percibido para el desarrollo de las actividades cotidianas en la organización toma entonces protagonismo, como ideal de optimización del programa lineal.

3.1.1. Perfil administrativo

La curva de aprendizaje en relación a la Tecnología del Moldeo por Inyección estuvo basada durante el primer año, etapa introductoria, en la experimentación y pequeños volumen de producción, desarrollando los conocimiento básicos obtenidos por el propietario en el sector hacia la solidificación de un sistema productivo funcional de mayor volumen de producción, en el plano administrativo las herramientas informáticas utilizadas responden a un sistema básico centrando todas las actividades en el propietario, quien tiene control total de la información, productiva, financiera y organizacional.

3.1.2. Cultura Organizacional

Acorde con el nivel de desarrollo temprano y el tipo de organización, la cultura organizacional se desarrolla en el contexto de la interacción del propietario con los operarios interacción amena dentro de la informalidad debido a las actividades que se desarrollan en la misma, la actitud del propietario es optimista y visionaria a pesar de las limitaciones que enfrenta y la

[19] En concordancia con el artículo 2° de la Ley 590 de 2000, Modificado por el art. 2, Ley 905 de 2004, Modificado por el art. 75, Ley 1151 de 2007, Modificado por el art. 43, Ley 1450 de 2011. Por la cual se dictan disposiciones para promover el desarrollo de las Mipyme, micro, pequeñas y medianas empresa.

cantidad de actividades que desarrolla en su papel multidisciplinario, la restricción del tamaño de la organización se debe en parte a la estrategia comercial utilizada.

3.1.3. Desempeño Financiero

El desempeño financiero en la organización es estable, desempeñándose en un mercado altamente competitivo, dependiente enteramente de los resultados del sistema productivo y su reflejo en los ingresos mensuales para cumplir con las obligaciones generadas por los costos del ejercicio productivo, la adquisición de materias primas y uso de la energía eléctrica son los componentes variables del costo de mayor participación en la organización, el pago de las obligaciones bancarias por prestamos como el más importante de los costos fijos.

3.1.4. Estrategia Comercial

La organización se encuentra en el segmento de "línea económica" del mercado de productos de aseo y formas básicas de plástico, con una estrategia de inclusión en la gama media del mismo en un periodo no menor a 1 año; la estrategia comercial utilizada es la de "marca blanca" respondiendo al tamaño y capacidad productiva de la organización, con porciones menores al 10% de sus ventas realizada de forma directa, restándole protagonismo al productor frente al distribuidor, quien suministra los productos a los clientes finales, el abastecimiento se realiza sin intermediarios.

A continuación se describen las Unidades de venta de los productos ofrecidos:

Tabla 4. Unidades de Venta productos manufacturados

Producto		Caja	Bulto 18 kg	Bulto 15 Kg	Al detal
Producto 1	Recogedor	120 Unidades	N/A	N/A	Docenas
Producto 2	Accesorio/Copa	N/A	Bulto	Bulto	Kilogramos
Producto 3	Gancho/Tapón	N/A	Bulto	Bulto	Kilogramos
Producto 4	Rosca	N/A	Bulto	Bulto	Kilogramos

Fuente Autor

3.1.5. Nivel Tecnológico de la Industria

La planta de producción funciona en el primer nivel de cuatro de una unidad residencial particular, con un área de 140 m^2, destinados en su totalidad a las actividades productivas, ubicación de los componentes energéticos, áreas de almacenamiento y preparación de materia prima, sin diferenciación de consumo entre instalaciones actualmente opera con una carga energética instalada de 54 kW, a continuación describe el estado de los diferentes dispositivos y componentes energéticos en la organización.

Máquinas de Moldeo por Inyección

El nivel tecnológico de la organización ha permanecido invariable desde la adquisición de la maquinaria, a pesar de no usar tecnología de última generación (maquinas hidráulicas modelos 2008 y 2010), estas desempeñan su trabajo acorde con los niveles de producción requeridos en el plan de producción estimado, con menos de 8 años de antigüedad y el mantenimiento recibido se muestran como una fortaleza frente a los competidores en el segmento por su capacidad de inyección y volúmenes de producción demostrados

Moldes de Inyección

Los moldes de inyección presentan el desgaste esperado tras el trabajo desempeñado, el cual no se remite al inicio de la organización debido a su adquisición posterior, operando con menores complicaciones en cavidades, sin perdidas de calor, desbalance en presiones de sostenimiento o escapes de material, como los 4 problemas más comunes en moldes de inyección.

Componentes energéticos auxiliares

Existen inconvenientes de capacidades y confiabilidad en la operación de dispositivos y Componentes Energéticos auxiliares en la organización, la metodología y procesos de preparación de materia prima para inyección es precaria y el dispositivo destinado para este fin- Dispositivo de Mezcla y Pigmentación - es un dispositivo artesanal que retrasa tiempos de producción debido a su metodología de operación y capacidades limitadas de mezcla, incurriendo en inconvenientes adicionales como perdida de materias primas, retraso por tiempos de operación y adecuada preparación de la materia prima a ser utilizada. En relación a la Unidad refrigerante -*Chiller*- los inconvenientes se desarrollan en torno a la capacidad de refrigeración limitada y restricciones de uso actuales siendo de uso compartido para las dos máquinas en funcionamiento.

Reciclaje

En relación al proceso de reciclaje *in situ* la maquinaria disponible presenta niveles de utilización de menos del 30% de la capacidad disponible de reciclaje por lo que su operación no presenta inconvenientes productivos;

3.1.6. Desempeño Ambiental y Ocupacional

El desempeño ambiental en la organización es aceptable en relación al nivel tecnológico actual de los componentes energéticos principales y las políticas productivas empleadas en relación a la adquisición de materias primas recicladas. En relación a los aspectos negativos del desempeño ambiental se encuentran las practicas rudimentarias de manejo de materias primas e insumos altamente tóxicos previo al proceso de inyección, la ausencia de programas de salud ocupacional y capacitaciones perjudica la salud y desempeño de los operarios,

desencadenando en disminuciones de los indicadores de productividad del proceso principal, la precariedad de las instalaciones eléctricas su inadecuado confinamiento, instalación y mantenimiento presentan el riesgo eléctrico como el mayor riesgo para los operarios en la planta de producción.

La organización se abastece de Polipropileno y polietileno 100% reciclado, reingresando al ciclo productivo plásticos perjudiciales para el medio ambiente, la salud humana, animal y vegetal, de la misma forma el proceso productivo de moldeo por inyección ofrece altos niveles de eficiencia en cuanto al uso de las materias primas.

Figura 18. Desempeño Ambiental y Ocupacional

Vertimientos	Sin impacto significativo, corregibles con estrategias de gestión administrativa, técnica y operaria, en el marco de las metodologías de buenas prácticas de manufactura
Aguas de Consumo	Refrigeracion de maquinaria y moldes de inyección, Sistema Cerrado de Refrigeración, niveles de consumo insignificativos desperdicio por evaporación despreciable, servicios sanitarios complementan los componentes del consumo
Contaminación auditiva	El ruido es generado por los componenetes energeticos activos (Inyectora, Molino y Dispositivo de refrigeración -*Chiller*), de forma combinada superan los 75 dB en promedio en el área de afectación del operario, protección auditiva es necesaria

Fuente Autor

3.1.7. Descripción Energética

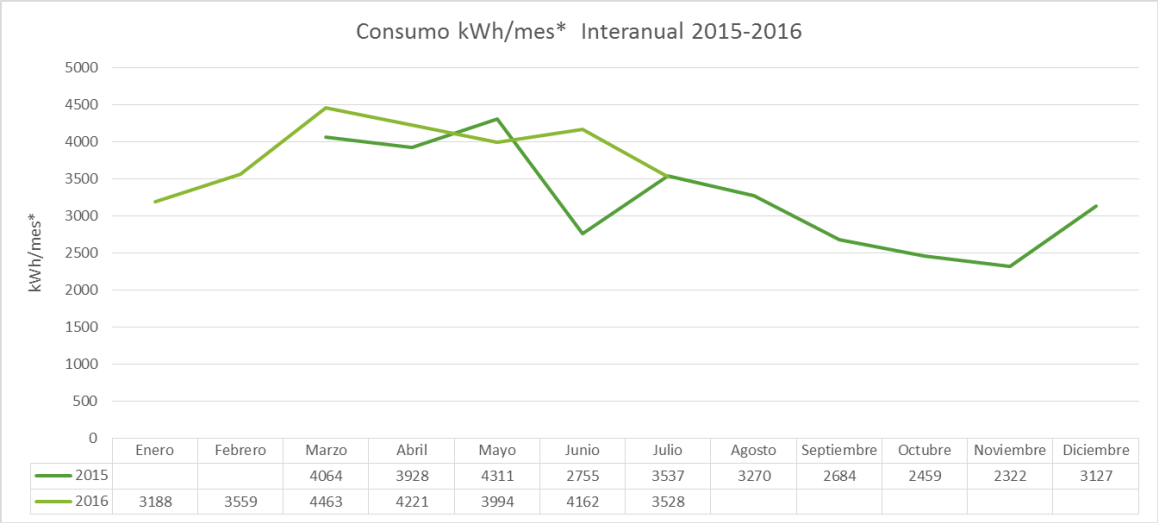
3.1.7.1. Gestión y comportamiento energético

El sistema productivo de la organización a pesar de utilizar procesos de manufactura energéticamente intensivos no utiliza ninguna metodología ni sistema de gestión direccionado al uso eficiente de la energía eléctrica consumida en las actividades productivas, ej. NTC-ISO 50001. La técnica de vigilancia y control interna del consumo energético se realiza con el punto de equilibrio económico de la organización, la influencia de los costos variables por unidad (Polímeros-materia prima) y el valor de la energía eléctrica consumida ($/kWh). El análisis por estimación de estos parámetros para cada producto permite cuantificar el volumen de producción necesario para sobrepasar el punto de equilibrio y no incurrir en pérdidas.

La ausencia de registros históricos y temporalidad de volúmenes de producción y consumo energético por producto manufacturado es total y limitan análisis energéticos desde la

perspectiva de Intensidad energética y la relación kWh/Unidad como indicador de eficiencia energética, a pesar de esto el comportamiento volumétrico de la producción sin discriminación producto, puede ser descrito por el consumo energético total del sistema, reflejado en el cobro mensual de energía eléctrica utilizada, la Figura 19. Histórico consumo energía eléctrica[20] describe la tendencia del consumo energético mensual durante el último año de operación.

Figura 19. Histórico consumo energía eléctrica



	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2015			4064	3928	4311	2755	3537	3270	2684	2459	2322	3127
2016	3188	3559	4463	4221	3994	4162	3528					

Fuente Autor

El material documentado evidencia la fortaleza del primer semestre frente al segundo, el decrecimiento del consumo energético inicia tras el mes de Junio, llegando a su nivel mínimo en el mes de Noviembre, tras el cual aumenta de nuevo el consumo acorde con la preparación de pedidos y programación de producción realizada para el primer trimestre del año, el comportamiento energético reflejado describe la percepción del productor en los últimos 5 años, con fuertes tendencias a la baja en el último trimestre del año y una recuperación y mantenimiento de los niveles de producción durante el primer semestre del año, con niveles máximos que duplican en consumo los periodos de menor utilización energética, la anomalía del comportamiento interanual del mes de Junio 2015 respondió a un desempeño débil en el mercado de los productos ofrecidos atribuido a cambios en los nivel de producción y diversificación de productos.

[20] kWh/mes debido a la inexactitud de los periodos facturados en el cobro del servicio de energía eléctrica (día inicio-día fin) los valores de consumo utilizados reflejan aquel mes que se encuentra cubierto en su mayoría por el periodo facturado.

3.1.7.2. Instalación

La planta de producción de la organización funciona en el primer nivel de cuatro de una unidad residencial, sin diferenciación de consumo entre instalaciones actualmente opera con una carga energética instalada de 54 kW.

El suministro energético es provisto por CODENSA S.A. ESP, mediante un Contrato de Servicio Público, para el suministro residencial convencional, con tarifas establecidas por kWh de energía eléctrica utilizada de variación mensual según la tarifa por kWh, la instalación eléctrica desde la Red Local, Acometida Aérea[21] (República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME, 2013) y caja del medidor se encuentran de acuerdo a la reglamentación de seguridad y suministro del Código Eléctrico Colombiano - NTC 2050, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas para Colombia RETIE, y el Manual de Seguridad de la compañía de suministro.

La instalación eléctrica interna, incluyendo el Panel de Distribución y redes de suministro hacia los componentes energéticos es precaria Fotografía 1. Condiciones de instalación interior – Tablero de Distribución, sin el confinamiento adecuado, (armario o gabinete) que asegure la integridad de la instalación, protección ignifuga o conexión adecuada de los componentes energéticos instalados, se incrementa el riesgo de electrocución en la instalación, como el riesgo de afectación para la integridad de los operarios y del sistema productivo, aumentando la probabilidad de interrupciones y afectación de la continuidad del sistema, los arreglos artesanales en mantenimiento e instalación de dispositivos son comunes.

[21] Derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas (RETIE)

Fotografía 1. Condiciones de instalación interior – Tablero de Distribución

Fuente Autor

3.1.7.3. Maquinaria

Máquinas de moldeo por inyección

La organización cuenta con 2 máquinas de moldeo por inyección de procedencia china, las especificaciones son descritas en la Tabla 5. Especificaciones Maquinas de Moldeo por Inyección, el nivel tecnológico de la organización ha permanecido invariable desde la adquisición de la maquinaria, a pesar de no usar tecnología de última generación (maquinas hidráulicas modelos 2008 y 2010), estas desempeñan su trabajo acorde con los niveles de producción requeridos en el plan de producción estimado, con menos de 6 años de antigüedad y el mantenimiento recibido se muestran como una fortaleza frente a los competidores en el segmento por su capacidad de inyección y volúmenes de producción demostrados.

Tabla 5. Especificaciones Maquinas de Moldeo por Inyección

Productor	CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO .LTD	CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO. LTD
Procedencia	Guangdong, China	Guangdong, China
Modelo	CJ180 M3V	EM180-V
Fecha de Manufactura	2008-02	2010-09
Conformidad de manufactura	CE – Conformidad Europea	CE - Conformidad Europea
Fuerza de cierre	1800 KN	1800 KN
Potencia Nominal[22]	28.3 kW	28.3 kW
Capacidad de Inyección	488 cm^3	488 cm^3
Voltaje	380V	220V
Frecuencia	50 Hz	60 Hz
Presión del sistema hidráulico	NA	17.5 Mpa
Motor Hidráulico	NA	18.5 kW
Capacidad de calentado	NA	9.76 kW
Zonas de control Temperatura	3 + Boquillas	3 + Boquillas
Dimensiones	NA	5.2m x 1.3m x 1.9m
Peso total	NA	5000 kg
Capacidad tanque aceite	2 L	2 L

Fuente Autor

Fotografía 2. Máquina de Moldeo Por Inyección CJ180 M3V

Fotografía 3. Máquina de Moldeo Por Inyección EM180-V

Fuente Autor

[22] Como valor nominal de la potencia máxima necesaria para operar la maquinaria de forma segura en un ambiente controlado y en óptimas condiciones

Unidad refrigerante

La unidad de refrigeración *"Chiller",* como dispositivo de enfriamiento de las máquinas de moldeo por inyección funciona mediante un Sistema Cerrado de Refrigeración, de origen artesanal utiliza agua para la refrigeración.

Fotografía 4. Unidad Refrigerante

Fotografía 5. Molino Eléctrico Pulverizador

Fuente Autor

Molino eléctrico pulverizador de plástico

El molino eléctrico pulverizador de plástico, es el dispositivo utilizado para llevar a cabo las actividades de reciclaje y normalización de materia prima adquirida, su uso regular se describe acorde con los niveles de producción y niveles de productos no conformes generados.

Tabla 6. Especificaciones Molino eléctrico pulverizador de plástico

Referencia	PC-300	Referencia Motor	JB/T10391-2002
Potencia	5.5 kW	Manufactura	2007/04
Velocidad de rotación	700 r/min	Potencia	7.5 kW
Peso neto (sin motor)	400 kg	Peso neto motor	81 kg
Capacidad de Trituración	100-250 kg/h	dB-Decibeles	78
Cuchillas rotativas	9	Voltaje	220 V
Cuchillas Estáticas	2	Amperaje	30A
		Frecuencia	60 Hz

Fuente Autor

Otros

Dos basculas de media y gran capacidad, se encuentran en la organización para la realización de las actividades de pesaje, la báscula de gran capacidad permite realizar la comprobación de unidad de carga de la materia prima adquirida y de las unidades de venta finales, la báscula de menor capacidad se utiliza como herramienta de precisión para las cargas de materia prima y comprobación de polímeros y aditivos adicionados al compuesto de inyección.

3.1.8. Descripción Productiva

La organización opera diariamente en jornadas de producción de 12 o 16 horas diarias continuas, según los niveles de cumplimiento de la demanda alcanzados semanalmente, el producto manufacturado y la disponibilidad de operarios (operación ininterrumpida relevo inmediato), al transcurrir la jornada laboral el sistema se detiene por completo, (desactivación completa de los componentes energéticos) para reiniciar operación a las 06:00 am del día siguiente, durante la jornada laboral 2 turnos de 6 o 8 horas son asignados a dos operarios de planta distintos para la operación de una máquina de moldeo por inyección.

3.1.8.1. Plan de Producción

El plan de producción para la elaboración de los productos mediante el moldeo por inyección inicia con la estimación periódica de los niveles de demanda percibidos por el propietario para cada uno de los productos (Plan agregado de producción), la estimación de demanda es alimentada por la Dinámica de Ventas[23] (Heizer, y otros, 2009) presentada en periodos anteriores, el propietario estima en función de niveles pasados y realiza revisiones del mercado semanalmente para modificar su estimación.

El procedimiento de abastecimiento de materiales e insumos se realiza en función del precio de oportunidad en el mercado y los niveles actuales de inventarios, el sistema productivo no cuenta con estrategias de planeación y programación de la producción fortalecidas por parámetros teóricos, la asignación de recursos y requerimientos productivos se realizan mediante inspecciones visuales, percepciones propias del sector y disponibilidad inmediata de recursos.

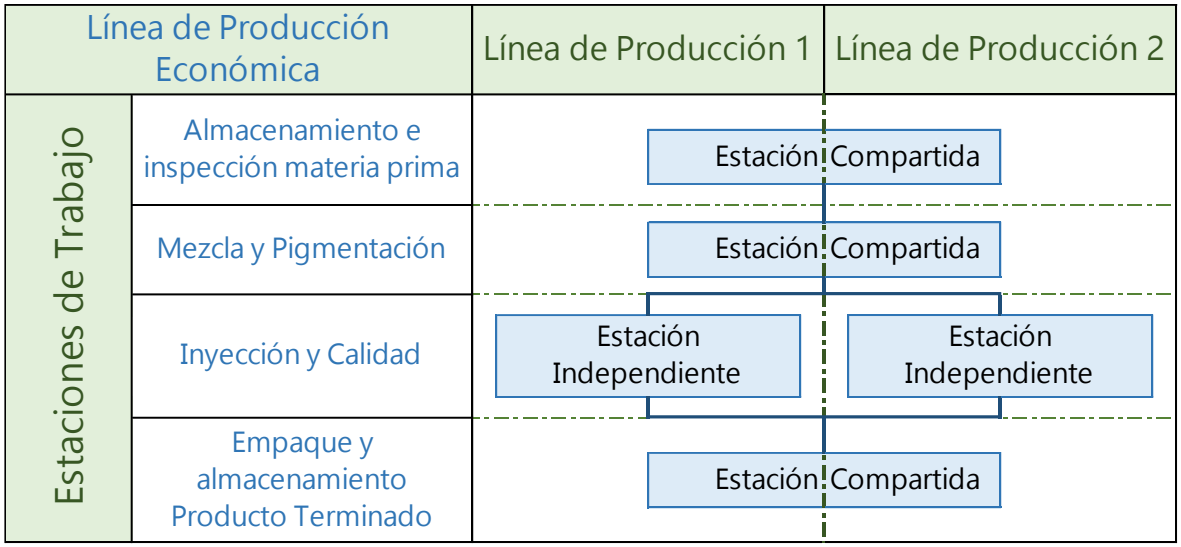
Luego de estimaciones de demanda y adquisición de materia primas, la dinámica productiva se enfoca en la programación de actividades de los productos de mayor requerimiento en el mercado, el montaje, preparación y alistamiento de la maquinaria así como asignación de mano de obra se hace en función de ello y se adapta según percepciones futuras, el polímero de cada producto se utiliza como parámetro principal en la preparación de las líneas de producción.

[23] Método Cualitativo *Composición de la fuerza de ventas*, como enfoque en donde cada vendedor estima cuáles serán las ventas en su región.

3.1.8.2. Línea de Producción Económica

El procedimiento involucrado para la elaboración de las unidades de venta de los productos ofrecidos en la organización se lleva a cabo en 2 líneas de producción flexibles *Líneas de Producción Económica*, cada una con una Máquina de Moldeo por Inyección, que comparten estaciones de trabajo donde se asignan actividades según el programa de producción estimado, conformadas por 4 estaciones de trabajo comparten 3 de ellas por línea, como se relaciona en la Figura 20. Estaciones de trabajo - Líneas de Producción Económica, el procedimiento de reciclaje *in situ* está contemplado como actividad auxiliar del sistema.

Figura 20. Estaciones de trabajo - Líneas de Producción Económica

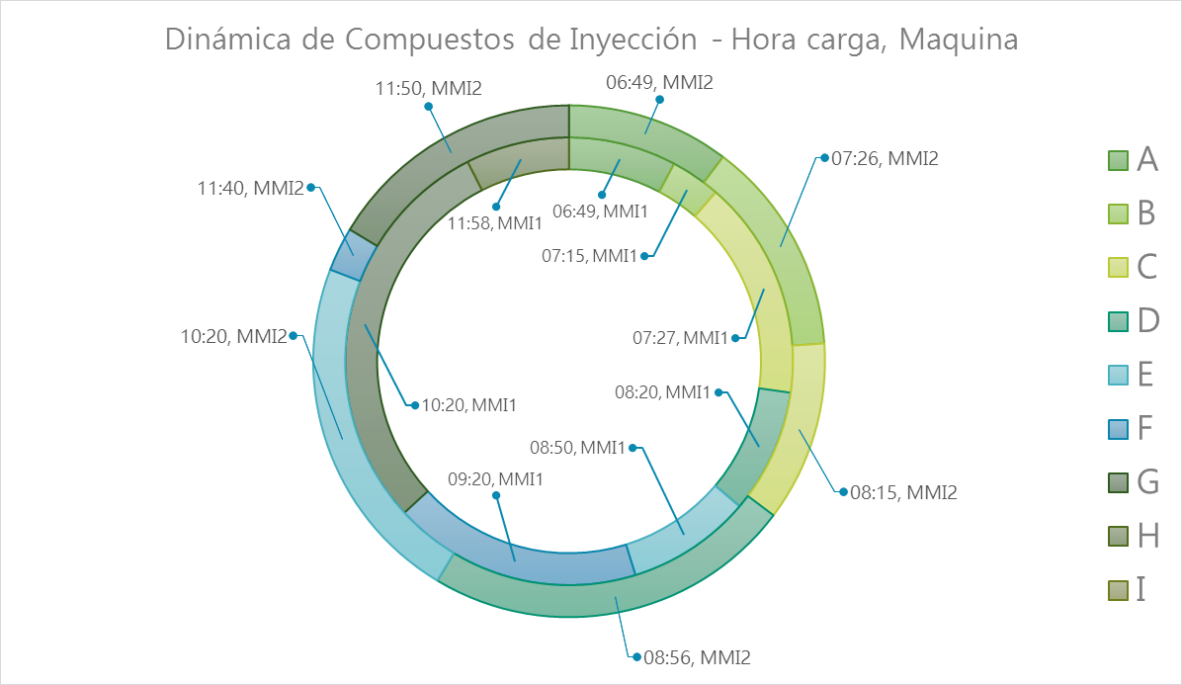


Fuente Autor

Sesiones de trabajo

La independencia de las líneas de producción radica en la utilización de las máquinas de moldeo por inyección en la etapa de Inyección y Calidad, es aquí donde cada producto es inyectado de forma independiente en cada máquina, la dinámica operacional de las líneas de producción en esta etapa en relación a la duración de las cargas del compuesto de inyección es representada en la Figura 21. Dinámica de compuestos de Inyección, allí se representa la operación activa de las dos máquinas, mostrando el tiempo del inicio de la carga de los compuestos de inyección en cada una, la asincronía evidenciada con el trascurrir de la sesión es reflejo de las características propias de cada molde de inyección y responde a parámetros de volumen de polímero inyectado, cargado, tiempo de ciclo y operación de la maquinaria.

Figura 21. Dinámica Compuestos de Inyección

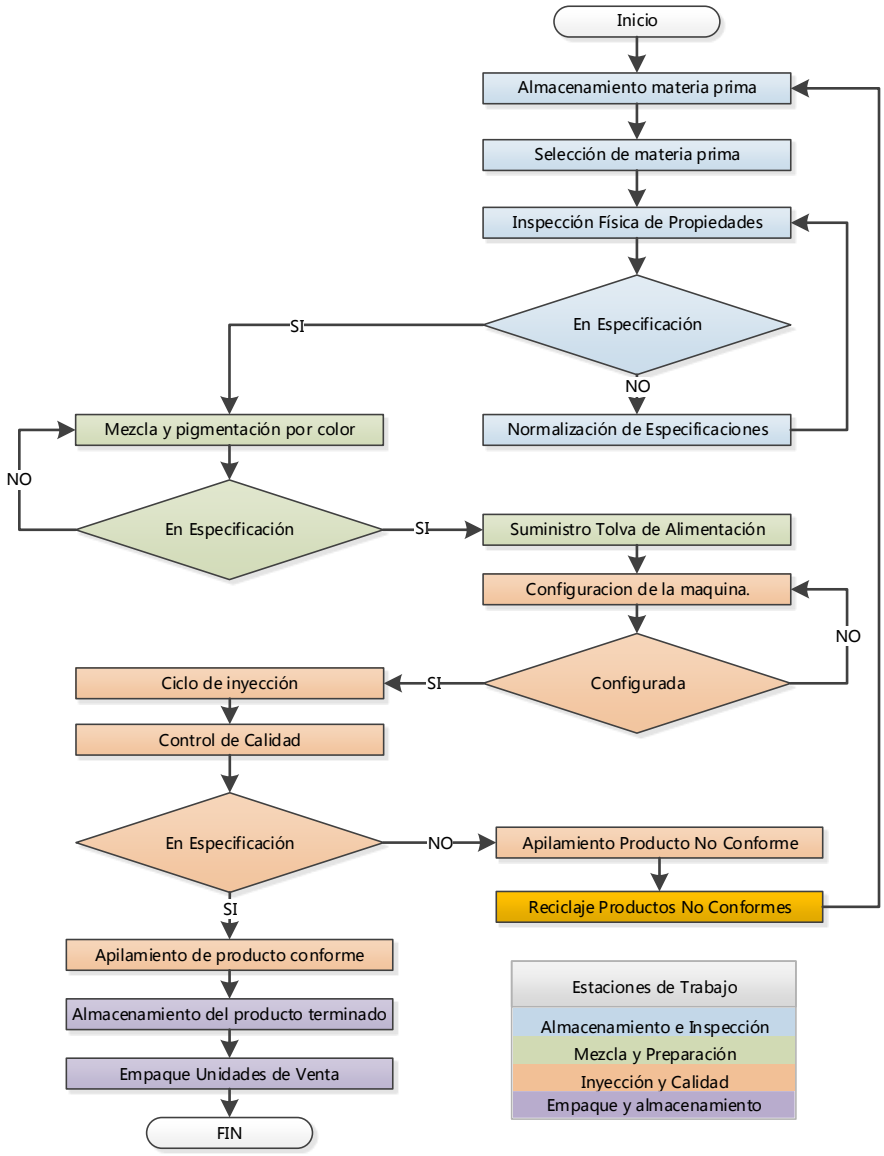


Fuente Autor

3.1.8.3. Diagrama de Flujo - Línea de Producción económica

Debido a su naturaleza repetitiva y análoga, las líneas de producción económicas en donde se manufacturan los 4 productos ofrecidos siguen las mismas actividades en cada estación de trabajo, guardando relación a las características propias de cada producto manufacturado, parámetros propios de manufactura, almacenamiento, mezcla y revisión de calidad a continuación describe en la Figura 22. Diagrama de Flujo Línea de Producción Económica, el diagrama de flujo de las actividades necesarias para la manufactura de los productos en las diferentes Líneas Económicas de Producción.

Figura 22. Diagrama de Flujo Línea de Producción Económica



Fuente Autor

El flujo de actividades en las estaciones de trabajo para cada línea económica es llevado a cabo por un operario, desde la Inspección Física de materia prima hasta el almacenamiento de productos terminados, el sistema contempla la producción de un solo color a la vez para cada producto manufacturado, al alcanzar las unidades requeridas según la demanda estimada se procede a reiniciar el proceso de selección, mezcla y preparación con un nuevo color, la metodología contempla la segmentación por colores y tipo de polímero. La descripción de las actividades involucradas es relacionada a continuación.

Almacenamiento e Inspección

En el área de almacenamiento las materias primas son clasificadas y ubicadas de acuerdo a momento de arribo, tipo, tamaño de empaque y color. Tras el almacenamiento el operario realiza la selección del polímero requerido mediante una inspección y aprobación visual de las especificaciones y características físicas percibidas para la inyección de acuerdo al plan de producción, verificando el nivel de humedad percibido a temperatura ambiente y el tamaño de las gránulos en la unidad de empaque, en caso de no cumplirse las especificaciones necesarias se realiza una tarea de normalización de los parámetros del polímero; El nivel de humedad percibida se reduce al dispersar en el suelo del almacén el material fuera de especificaron, evaporando la humedad. Los bultos fuera de especificación en relación al tamaño de los gránulos, proceden a triturarse en el Molino Pulverizador de Plástico reduciendo su tamaño para el requerido por el sistema en la Unidad de Inyección de la máquina.

Fotografía 6. Apilamiento temporal

Fotografía 7. Normalización - Nivel de humedad

Fotografía 8. Inspección visual Materia prima

Fuente Autor

Mezcla y Pigmentación

Tras normalizar las especificaciones del polímero para dar cumplimiento al plan de producción, se traslada al área de Mezcla y Pigmentación, donde se prepara el compuesto a utilizar, la mezcla asegura el color deseado y solidifica la consistencia del compuesto. Tras una evaluación visual de la saturación de color del polímero seleccionado se adiciona el pigmento necesario que se estima para asegurar la integridad de color y adherencia en el producto final, la mezcla se realiza en el Dispositivo de Mezcla y Pigmentación, dispositivo artesanal que homogeniza y distribuye de manera uniforme el pigmento en la carga de polímero, las Cargas de Materia Prima corresponden al volumen de polímero máximo contenido en el dispositivo.

Fotografía 9. Dispositivo de Mezcla y Pigmentación

Fotografía 10. Mezcla de Inyección

Fotografía 11. Canecas de Pigmentación

Fuente Autor

El Dispositivo de Mezcla y Pigmentación consiste en una caneca plástica con cierre de tapa en rosca, montada en un eje rotativo trasversal sobre una estructura metálica que permite la rotación libre, el operario ejerce entre 30 y 40 revoluciones/preparación al dispositivo, independiente de la saturación de la mezcla, esta actividad se realiza en simultáneo a las tareas de Inyección y revisión de Calidad. La tabla 7. Características Productivas Dispositivo de Mezcla y Pigmentación, describe las especificaciones técnicas del dispositivo.

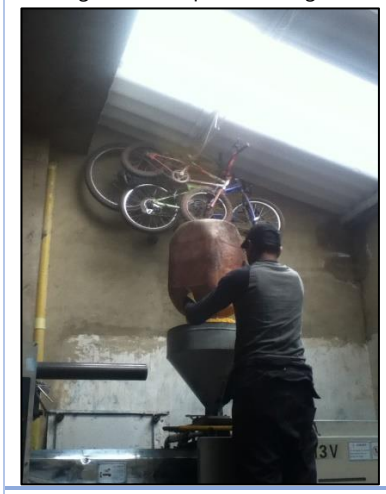
Tabla 7. Características Productivas Dispositivo de Mezcla y Pigmentación

Especificación	Descripción
Capacidad Máxima	24 kg (no expandibles)
Revoluciones por carga	30-40
Unidades por Carga	Dependiente del Producto manufacturado (Peso Unitario)
Tiempo en Producción	70 Minutos
Origen	Artesanal

Fuente Autor

Luego de homogenizado el compuesto a inyectar, es trasladado a la Tolva de Alimentación ubicada en la parte anterior del tornillo de inyección, aquí se dosifica la mezcla de forma constante y permanente alimentando el compuesto al tornillo donde sucede el calentamiento y fundición del material en preparación para la inyección.

Fotografía 12. Operario Cargando



Fotografía 13. Mezcla cargada

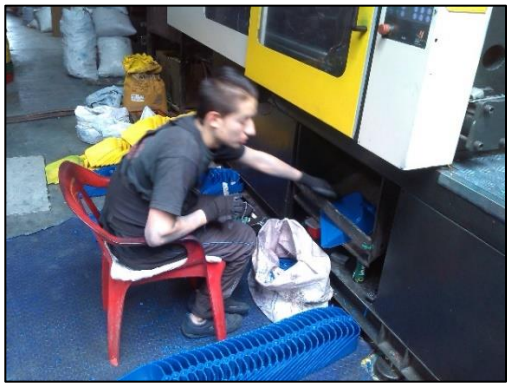
Fotografía 14. Carga directa

Fuente Autor

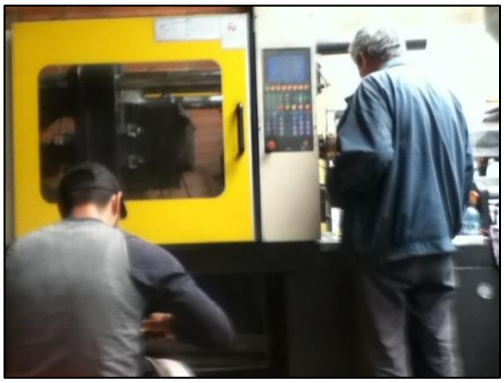
Inyección y calidad

Las actividades de Inyección y Calidad ofrecen una permanente retroalimentación del comportamiento del Ciclo de Inyección, la configuración de los parámetros de inyección y el control de calidad realizado, el desarrollo de este proceso responde a las características del compuesto utilizado[24] y a las condiciones de la maquinaria. Las actividades de Inyección y Calidad se realizan en cada máquina de moldeo por inyección en estado activo. Al iniciar la jornada, ciclos de inyección de prueba permiten evaluar el comportamiento de la materia prima y realizar una configuración apropiada de temperatura, tiempos del Ciclo de Inyección, presiones en cierre y sellado, volumen y distancia recorrida entre otros. El operario asignado realiza una inspección permanente de los Ciclos de Inyección completados, asegurando que se satisfagan las especificaciones del producto manufacturado Fotografía 15. Operación de Revisión de Calidad, de ser necesario se cambian parámetros de inyección y se realizan cambios según juicio y evaluación constante de la operación. Fotografía 16. Configuración Maquinaria.

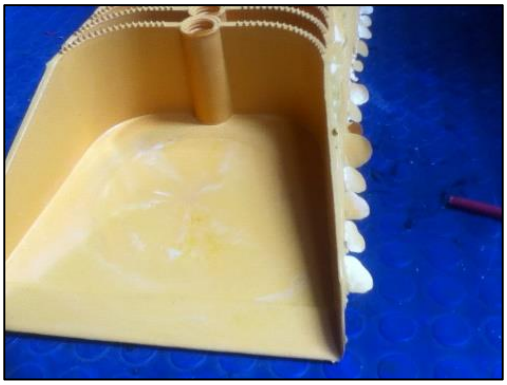
Fotografía 15. Operación de revisión calidad



Fotografía 16. Configuración maquinaria



Fotografía 17. Producto conforme previo revisión



Fotografía 18. Producto No conforme

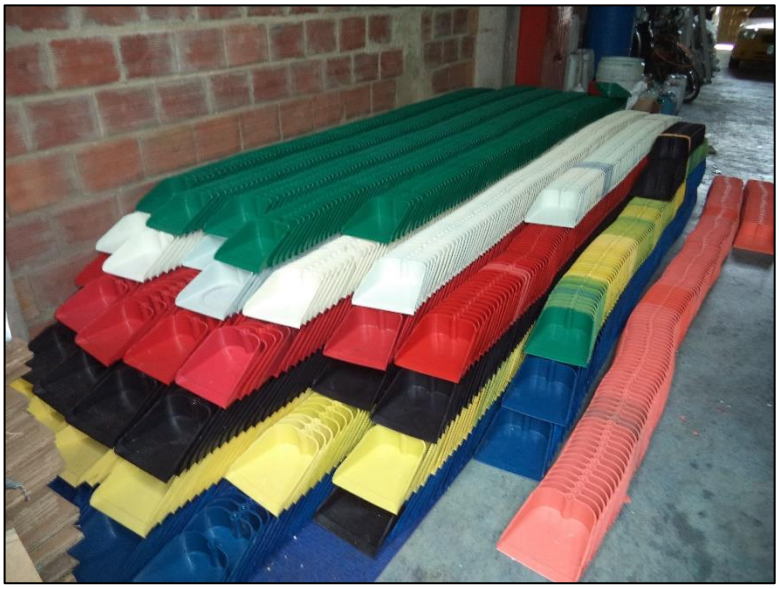
Fuente Autor

[24] Debido a los polímeros reciclados, las características de los compuestos de inyección no son homogéneos.

Empaque y Almacenamiento

El empaque y almacenamiento de productos terminados es el paso final en la Línea de Producción Económica, las características de la Unidad de Empaque de cada uno determinan las acciones correspondientes posterior a su inyección, para aquellos ofrecidos en bultos el empaque se realiza inmediatamente finaliza el ciclo de inyección, acumulando los productos conformes en el bulto que servirá como empaque final, aquellos productos ofrecidos en unidades de empaque diferentes son trasladados del almacenamiento temporal junto al operario en el área de revisión de calidad Fotografía 19. Apilamiento productos terminados, a un espacio designado en el área de almacenamiento donde son apilados en un arreglo que permite realizar el empaque con mayor precisión disminuyendo los contratiempos.

Fotografía 19. Apilamiento productos terminados



Fuente Autor

El almacenamiento responde a la metodología de producción por colores y al proceso de empaque, el apilamiento asegura la distribución de productos en cada unidad de empaque.

3.1.8.4. Materia Prima

Los polímeros utilizados en el sistema productivo responden a una selección de propiedades y ventajas de moldeo específicas para los productos manufacturados, a pesar de los requerimientos productivos la procedencia de un tipo de materia prima es diversa y puede variar con cada abastecimiento, Fotografías 20-24. La tabla 8. Propiedades resinas plásticas a continuación describe las características básicas, ventajas y usos de cada polímero en el sistema.

Tabla 8. Propiedades Resinas Plásticas

Polímero	Propiedades	Ventajas productivas	Utilidad	Temperatura de fusión °C[25]	ASTM-D7611 **(American Society for Testing and Materials - ASTM, 2013)**	
					Código de identificación de resina Opción A	Código de identificación de resina Opción B
Polipropileno (PP)	Baja densidad vida útil casi infinita bajo flexión, superiores propiedades eléctricas, resistencia al calor, rigidez, tenacidad, resistencia química, estabilidad dimensional, brillo superficial, flujo de fusión	Adquisición: 100% reciclada Reciclaje: Sin pérdida de propiedades Pigmentación: Adherencia por fundición	Producto 1, *tamaño de sobre*[26] menor a 5100 cm3	250-260		
Polietileno Alta y Baja densidad (PEAD-HDPE) (PEBD-LDPE)	Dureza, ductilidad y excelente resistencia química, baja permeabilidad al vapor de agua, y una baja absorción de agua, bajo punto de fusión		Accesorio, Gancho/Tapón y Rosca, Piezas de tamaño de sobre menor a 100 cm3	250-260		
				190-200		
Polietileno Tereftalato (PET)	Dureza, fortaleza y alta resistencia a la abrasión, bajo coeficiente de fricción, resistencia química, baja absorción de humedad, resistencia al flujo en frío resistencia a la fatiga y fractura por estrés; aspecto superficial.		Accesorio, Gancho/Tapón y Rosca, Piezas de tamaño de sobre menor a 100 cm3	275/265 Cristalino/Amorfo		

Fuente Autor

Fotografía 20. Polipropileno circular

Fotografía 21. Polipropileno Mezcla

Fuente Autor

[25] Temperatura a la cual los polímeros se funden y se vuelven moldeables por inyección a temperatura ambiente 20°C

[26] *Envelope Size*, eng. Tamaño de Sobre, traducción del término de parametrización de los tamaños de las piezas de manufactura en el moldeo por inyección, el menor espacio cubico que contiene la pieza inyectada.

Fotografía 22. Polipropileno reciclado - Canecas

Fotografía 23. Polipropileno extruido

Fotografía 24. Polipropileno reciclado - Envases

Fuente Autor

Reciclaje Materia Prima

El reciclaje de productos no conformes y sobrantes como actividad auxiliar del proceso de producción es llevada a cabo en la planta de producción siguiendo la metodología de segmentación por colores y tipo de polímero de las líneas de producción en el sistema, una vez se ha acumulado una cantidad considerable (estimación visual) de productos no conformes y sobrantes de características similares se inician las actividades de trituración, operando el Molino Pulverizador de Plástico, un operario auxiliar al que desempeña las labores en la línea se encarga de triturar los polímeros, generados implícitamente al proceso de producción pero sin volúmenes específicos en relación a la efectividad del proceso[27], como práctica común de reciclaje *in situ*, conocida como reciclaje primario (Goodship, 2007), reduce costos de materia prima, específicamente en el moldeo por inyección los productos no conformes y sobrantes de productos inyectados pueden ser alimentados de forma inmediata tras la trituración.

Efectos del Procesamiento de Termoplásticos

El proceso de reciclaje de termoplásticos tiene grandes ventajas ambientales, económicas y productivas, sin embargo se muestra como una operación que puede afectar negativamente la

[27] Debido a las características –color y tipo de polímero- y procedencia variable de la materia prima utilizada la variación de niveles de producción de no conformes semana a semana fluctúa sin tendencias claras, la efectividad del proceso también es un parámetro de variación.

transformación de polímeros en un sistema productivo, las dificultades con mezclas de materia prima heterogénea, aquellas con dos o más tipos de plásticos, pueden ocasionar degradación térmica por diferenciales de temperatura que incidirán negativamente en la calidad del producto final. La procedencia de la materia prima reciclada también representa una dificultad en el procesamiento ya que no es posible asegurar la calidad del tratamiento previo, en la Tabla 9. Condiciones de polímeros reciclados, se describen las condiciones principales en la adquisición de material reciclado.

Tabla 9. Condiciones de polímeros reciclados

Condición	Causa
Reprocesamiento	Cuántas veces ha sido triturado el polímero
Degradación térmica	Cuántas veces ha sido fundido el polímero
Procedencia	Interna o Externa
Tipo de Mezcla	Homogénea (un solo polímero) – Heterogénea (2 o más polímeros)
Contaminación	Agentes Externos
Utilización	Uso previo o productos elaborados con este
Exposición	Almacenamiento y condiciones adecuadas de exposición

Fuente Autor – Adaptado de (Goodship, 2007)

La Fotografía 25. Mezcla Heterogénea de polímeros – Producto Inyectado, evidencia en una exposición a contraluz los efectos de la degradación térmica debido a mezclas heterogéneas, los parches circulares de mayor claridad al proyectado para el producto representan la diversidad de polímeros inyectados en el producto final.

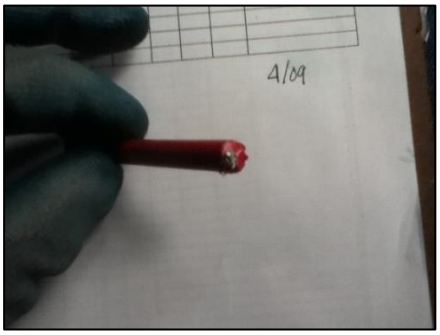
Fotografía 25. Mezcla Heterogénea de polímeros – Producto Inyectado

Fuente Autor

Las dificultades en el tratamiento de polímeros reciclados no solo se evidencian en las propiedades estéticas sino en las físicas del producto final, la Fotografía 26. Degradación Térmica – Producto Inyectado, muestra la Degradación Térmica por diferencial de temperatura en mezcla heterogénea, debido a la presencia de más de un polímero en la fundición, en donde aquel de menor punto de fusión se vuelve térmicamente inestable y se degrada, decolorándose y adquiriendo un tono amarillo o café, la afectación por temperatura también ocasiona la separación parcial de la superficie del producto inyectado. (Goodship, 2007).

Fotografía 26. Degradación Térmica

Fotografía 27. Contaminación Externa –Vela



Fotografía 28. Contaminación Externa

Fotografía 29. Contaminación Externa – "Vela"

Fuente Autor

La contaminación de material reciclado también es una condición de procesamiento relevante en la inyección, la Fotografía 27. Contaminación Externa –Vela, Fotografía 28. Contaminación Externa – Producto Inyectado y la Fotografía 29. Contaminación Externa – Producto Inyectado Vela, evidencian la presencia de agentes externos en la inyección, la primera muestra un agente metálico en la vela de inyección, en la siguiente se muestra como se interpuso en la mezcla de polímeros al momento de la inyección obstaculizando la salida de polímero por la boquilla del tornillo de inyección, adhiriéndose al producto tras su eyección, en la última fotografía un agente externo obstaculizo la salida del polímero fundido, la afectación fue mayor debido a que ocasiono que la 'vela' se adhiriera en la base al producto.

3.2. VARIABLES SISTEMA PRODUCTIVO

Previo al inicio de la recolección de datos se realizó una observación del sistema productivo evaluando la pertinencia de las variables productivas seleccionadas en la etapa de revisión bibliográfica previa, buscando adoptar una estrategia de mayor efectividad y eficiencia en la obtención de datos que permitiera enfocar el ejercicio de observación y registro en paralelo y estableciera con certeza las variables productivas en los factores de producción inferidos previamente, Mano de Obra, Maquinaria, Materia Prima y otros.

El proceso de revisión bibliográfica busco determinar parámetros en los diferentes factores de producción que sirvieran como punto de partida para el análisis del sistema productivo, se determinaron 125 variables en 4 factores de producción reconocidos para este estudio dándole a la energía mayor participación debido el enfoque del análisis, tras una revisión en la unidad de análisis se depuraron, complementaron y obtuvieron las variables de mayor relevancia e inferencia, en la Tabla 10. Parámetros productivos en factores de producción, se listan las variables retroalimentadas tras la revisión bibliográfica y el análisis previo del sistema.

Tabla 10. Parámetros productivos en factores de producción

Factor de Producción		Revisión Bibliográfica	Variables seleccionadas
Materia Prima	Polímeros	21	16
	Pigmentos	3	3
Maquinaria	Máquinas de moldeo por inyección	33	33
	Moldes de Inyección	4	3
Mano de Obra		8	7
Energía		56	39
TOTAL		125	101

Fuente Autor

3.2.1. Variables Productivas

3.2.1.1. Materia Prima - Polímeros

Las variables seleccionadas en el factor de producción Materia prima, contemplan características físicas y plásticas básicas, tras la revisión bibliográfica inicial se seleccionaron 9 variables que debido al alcance y enfoque de la investigación, el limitado acceso a los dispositivos y tecnologías de monitoreo y análisis, se redujeron a 4 variables de procesamiento.

Tabla 11. Variables Materia prima - Polímeros

Variables Materia Prima									Observación en el Sistema
Variable		Valor/Descripción					Unidad	Numero variables	
Procesamiento (Harper, 2002) (Brydson, 1999)	Tamaño carga						Kg	1	Seleccionada
	Polímero en Carga Materia Prima	PP	PEAD	PEBD	PET		kg	4	Seleccionada
	Temperatura de fusión y Aceite						°C	7	Seleccionada
	Procedencia[28]	Reciclado - Reciclado In situ - Pellet					kg	3	Seleccionada
Mecánicas (Chanda, y otros, 2009)		Visco elasticidad (fluidez) (Chanda, y otros, 2009)					gr/10 min	1	No Seleccionada
		Resistencia a la Flexión (Ruptura)					psi	1	No Seleccionada
		Dureza (Harper, 2002)					Rockwell	1	No Seleccionada
Térmicas		Coeficiente de expansión Térmica Lineal					-10^{-6}m/(m/°C)	1	No Seleccionada
Físicas	Densidad	Densidad Media					gr/cm3	1	No Seleccionada
	Color	Amarillo - Naranja - Rojo - Azul - Verde - Blanco - Negro					nominal	1	Seleccionada

Fuente Autor

3.2.1.2. Materia Prima - Colorantes

La pigmentación de resinas plásticas se lleva a cabo mediante la adición de colorantes en el proceso de inyección, para homogenizar y solidificar la coloración del producto final. (Kutz, 2011); Tras la revisión bibliográfica en la organización se determinaron las variables de los colorantes usados.

Tabla 12. Variables materia prima – Pigmentos

Variables			Unidad	Observación en el Sistema
Variable		Valor/Descripción		
Físicas	Medio de transporte	Dry Color Masterbatch o Concentrado	nominal	Seleccionada
	Color (Chanda, y otros, 2007)	Amarillo – Cromo Claro Naranja- Molibdato de Pomo Rojo- Óxido de hierro Azul – Azul Ultramarino Verde – Verde Cromado Negro – Negro Carbono	nominal	Seleccionada
Procesamiento (Harper, 2002) (Brydson, 1999)	Pigmento Carga Materia Prima	Kilogramos añadidos en carga de materia prima	kg	Seleccionada

Fuente Autor

[28] Procedencia La Procedencia como propiedad se debe al carácter reciclable y reutilizable dentro de la organización

3.2.1.3. Maquinaria

Máquinas de moldeo por inyección

Debido a la gran variedad de plásticos aptos para procesamiento por Moldeo por Inyección esta ofrece innumerables combinaciones manuales y automáticas que le permiten llevara a cabo el procedimiento con precisión, tras la observación y caracterización de los polímeros utilizados se seleccionaron los parámetros de configuración de la maquinaria que mayor presencia tienen en el sistema productivo.

Tabla 13. Variables Productivas – Maquinaria

Variable		Unidad	Numero Variables	Observación en el Sistema
Operación	Tiempo de preparación Carga Materia Prima	min	1	Seleccionada
	Tiempo de funcionamiento – Alistamiento	min	1	Seleccionada
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal	min	1	Seleccionada
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada	min	1	Seleccionada
	Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programadas	min	14[29]	Seleccionada
Ajustes de maquinaria	Tiempo de ciclo	s	1	Seleccionada
	Tiempo de enfriamiento (Ajuste Temporizador)	s	1	Seleccionada
	Tiempo de plastificación	s	1	Seleccionada
	Tiempo de inyección	s	1	Seleccionada
	Ajuste Plastificación1 - Posición	mm	1	Seleccionada
	Capacidad de Inyección	cm^3	1	Seleccionada
	Apertura de Molde	mm	1	Seleccionada
	Apertura Eyectores	mm	1	Seleccionada
	Temperatura barril etapa 1	°C	1	Seleccionada
	Temperatura barril etapa 2	°C	1	Seleccionada
	Temperatura barril etapa 3	°C	1	Seleccionada
	Temperatura barril etapa 4	°C	1	Seleccionada
	Temperatura barril etapa 5	°C	1	Seleccionada
	Temperatura barril etapa 6	°C	1	Seleccionada
	Temperatura de Aceite	°C	1	Seleccionada

Fuente Autor

[29] En relación a 14 Paradas No programadas Identificadas en el Sistema

Moldes de Inyección

Siendo un herramienta independiente a la máquina de moldeo por inyección, los moldes de inyección son elementos intercambiables que se utilizan según la programación de producción, cada molde corresponde a un producto en específico y puede contar con diferentes cavidades de inyección que multiplican la cantidad de productos inyectados en cada Ciclo de Inyección, las variables que describen cada producto en cada molde son descritas a continuación.

Tabla 14. Variables Moldes de Inyección

Variable	Unidad	Numero de Variables	Observación en el Sistema
Peso de Inyección por molde	Kg	1	Seleccionada
Peso Producto por inyección	Kg	1	Seleccionada
Peso Unidad de Venta	Kg	1	Seleccionada
Peso Molde	Kg	1	No Seleccionada

Fuente Autor

3.2.1.4. Mano de Obra

El sistema productivo hace necesario la presencia de un operario por máquina, el cual se encarga de las actividades de Control de Calidad, Alimentación de la máquina, mantenimientos preventivos y correctivos así como los ocasionales ajustes de los parámetros de la maquinaria según advierta el material a procesar, las variables que se incluyeron en el análisis de este factor de producción para la organización, se incluyen en el cálculo de capacidades por tipo descrito por (Kalenatic, 2001).

Tabla 15. Variables Productivas – Mano de Obra

Variable	Unidad	Nomenclatura	Observación en el Sistema
Días hábiles mes que labora el puesto de trabajo "i"	días	DH	Seleccionada
Número de horas por turno que labora el puesto de trabajo del tipo "i"	Horas	HT	Seleccionada
Numero de turnos de trabajo que labora el puesto del tipo "i" según condiciones de producción	unidad	NT	Seleccionada
Perdidas estándares totales por mantenimiento preventivo de los puestos de trabajo activos en el sistema	Horas	G1	Seleccionada
Perdidas estándar totales por la no asistencia de trabajadores debido a vacaciones, incapacidades, permisos y otras ausencias justificadas y no justificadas	Horas	G2	Seleccionada
Perdidas estándares totales por factores externos organizacionales en el proceso de producción	Horas	G3	Seleccionada
Perdida externas totales por factores naturales, técnicos y económicos que conducen a paradas en los puestos de trabajo y que no dependen de los productores, sino de causas de fuerza mayor (falta de energía eléctrica, agua, etc.)	Horas	G4	Seleccionada
Capacitación operario	Horas	CO	No Seleccionada

Fuente Autor

3.2.2. Variables Energéticas

La variables de energía como factor de producción tuvieron o un tratamiento diferenciado como consecuencia de la utilización de la maquinaria disponible en la organización. El dispositivo ABB ANR96-230 Analizador Eléctrico Multifunción instalado en la organización, diseñado para monitorear, almacenar y analizar todas las variables energéticas en una línea de distribución[30] (Energy Vortex, 2016) ofrece un espectro de monitoreo de medición y cálculo de variables para los parámetros energéticos monitoreados, de 56 variables ofrecidas mide 8 y calcula las 48 restantes; incluyendo 7 variables monitoreadas por el dispositivo se utilizaron en total 39 de las 56 disponibles, a continuación se listan las variables ofrecidas y utilizadas:

Tabla 16. Variables energéticas medidas Analizador Eléctrico Multifunción

Variable	Nomenclatura	Unidad	Observación
Voltaje RMS Fase Línea 1	VL1-N	Voltio - V	Seleccionada
Voltaje RMS Fase Línea 2	VL2-N	Voltio - V	Seleccionada
Voltaje RMS Fase Línea 3	VL3-N	Voltio - V	Seleccionada
Corriente RMS Línea 1	IL1	Amperio - A	Seleccionada
Corriente RMS Línea 2	IL2	Amperio - A	Seleccionada
Corriente RMS Línea 3	IL3	Amperio - A	Seleccionada
Frecuencia	FL1	Hertz – Hz	Seleccionada
Temperatura	T	Celsius - ℃	No Utilizada

Fuente Autor

Tabla 17. Variables energéticas calculadas Analizador Eléctrico Multifunción

Variable	Nomenclatura	Unidad	Observación
Voltaje del sistema 3 fases RMS	V	Voltio - V	Seleccionada
Voltaje RMS Línea 1 - Línea 2	VL1-L2	Voltio - V	Seleccionada
Voltaje RMS Línea 2 - Línea 3	VL2-L3	Voltio - V	Seleccionada
Voltaje RMS Línea 3 - Línea 1	VL3-L1	Voltio - V	Seleccionada
Corriente del sistema 3 fases RMS	I	Amperio - A	Seleccionada
Factor de potencia sistema 3 fases	PF	(0-1)	Seleccionada
Factor de Potencia Línea 1	PFL1	(0-1)	Seleccionada
Factor de Potencia Línea 2	PFL2	(0-1)	Seleccionada
Factor de Potencia Línea 3	PFL3	(0-1)	Seleccionada
Potencia Aparente sistema 3 fases	S	Voltamperio - VA	Seleccionada
Potencia Aparente Línea 1	SL1	Voltamperio - VA	Seleccionada
Potencia Aparente Línea 2	SL2	Voltamperio - VA	Seleccionada
Potencia Aparente Línea 3	SL3	Voltamperio - VA	Seleccionada
Potencia Activa sistema 3 fases	P	Vatio - W	Seleccionada
Potencia Activa Línea 1	PL1	Vatio - W	Seleccionada
Potencia Activa Línea 2	PL2	Vatio - W	Seleccionada
Potencia Activa Línea 3	PL3	Vatio - W	Seleccionada

[30] Línea de transmisión puede referirse tanto a un solo cable que lleva electricidad a través de un sistema de transmisión, o la ruta física recorrida por la electricidad en su camino desde el productor hasta el consumidor. "Texto en ingles"

Tabla 18. Variables energéticas calculadas Analizador Eléctrico Multifunción (Continuación)

Variable	Nomenclatura	Unidad	Observación
Potencia Reactiva sistema 3 fases	Q	Voltamperio reactivo - VAr	Seleccionada
Potencia Reactiva Línea 1	QL1	Voltamperio reactivo - VAr	Seleccionada
Potencia Reactiva Línea 2	QL2	Voltamperio reactivo - VAr	Seleccionada
Potencia Reactiva Línea 3	QL3	Voltamperio reactivo - VAr	Seleccionada
Energía Activa sistema 3 fases	Wh+	kilovatio/hora - kWh	Seleccionada
Energía activa transferida sistema 3 fases	Wh-	kilovatio/hora - kWh	Seleccionada
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	VArh+	Voltamperio reactivo/hora - kVArh	Seleccionada
Energía Reactiva Capacitiva sistema 3 fases	VArh-	Voltamperio reactivo/hora - kVArh	Seleccionada
THD Voltaje Línea 1	THD VL1	Porcentaje	Seleccionada
THD Voltaje Línea 2	THD VL2	Porcentaje	Seleccionada
THD Voltaje Línea 3	THD VL3	Porcentaje	Seleccionada
Promedio potencia activa	Pavg	Vatio	Seleccionada
THD Corriente Línea 1	THD IL1	Porcentaje	Seleccionada
THD Corriente Línea 2	THD IL2	Porcentaje	Seleccionada
THD Corriente Línea 3	THD IL3	Porcentaje	Seleccionada
Promedio Potencia reactiva	Qavg	Voltamperio reactivo - VAr	No Seleccionada
Promedio Corriente del sistema 3 fases RMS	I avg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio Corriente del sistema 3 fases RMS MAX	I maxavg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio Corriente por Línea 1	IL1 avg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio Corriente por Línea 2	IL2 avg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio Corriente por Línea 3	IL3 avg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio máximo Corriente Linea 1	IL1 maxavg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio máximo Corriente Linea 2	IL2 maxavg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio máximo Corriente Linea 3	IL3 maxavg	Amperio - A	No Seleccionada
Corriente Neutro	IN	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio Corriente neutro	IN avg	Amperio - A	No Seleccionada
Promedio máximo Corriente neutro	IN avgmax	Amperio - A	No Seleccionada
Cosφ 3 fases	Cos φ	(0-1)	No Seleccionada
Cos φ Linea 1	Cos φ L1	(0-1)	No Seleccionada
Cos φ Linea 2	Cos φ L2	(0-1)	No Seleccionada
Cos φ Linea 3	Cos φ L3	(0-1)	No Seleccionada

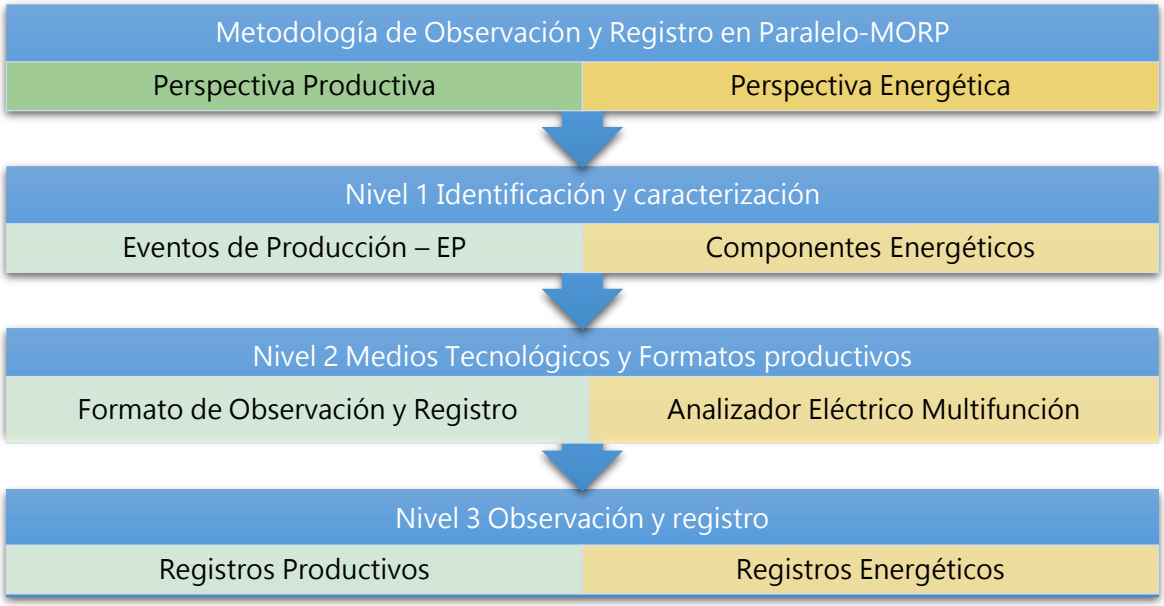
Fuente Autor

3.3. METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN Y REGISTRO EN PARALELO - MORP

La Metodología de Observación y Registro en Paralelo – MORP es una técnica de evaluación de sistemas energéticamente intensivos que en 3 niveles busca identificar y caracterizar el sistema productivo, seleccionar los medios tecnológicos y productivos para la obtención de datos y definir los niveles de muestreo en el marco de una estructura en paralelo desde una perspectiva productiva y Energética.

Para el análisis del sistema productivo en la organización, se utilizó la estrategia en paralelo desde dos perspectivas complementarias, como una aproximación análoga a la metodología utilizada por Silva Larrotta y Porras Rey en (Situación Energética general del sector de los plásticos en Bogotá, 2001), se evaluaron los "*…aspectos técnicos de las variables y fenómenos físicos operativos y/o económicos… en las líneas de producción y equipos…"*. Complementario a este análisis se profundizó en el análisis de los aspectos productivos del sistema, abordando de forma detallada la incidencia energética del comportamiento de las variables productivas en los factores de producción (mano de obra, materia prima, maquinaria y herramientas). Desde la perspectiva productiva, la metodología evalúa el comportamiento de las actividades de manufactura y desde la perspectiva energética, la influencia de estas actividades en el comportamiento y utilización de los Componentes Energéticos instalados -Maquinaria y equipos eléctricos-, caracterizando en simultaneo el comportamiento del sistema.

Figura 23. Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP



Fuente Autor

La Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP se desarrolló tras el análisis de la organización energéticamente intensiva de producción de productos plásticos mediante el moldeo por inyección, el enfoque permite obtener información con mayor precisión, a mayor profundidad y pertenencia acerca de la influencia energética en un sistema energéticamente intensivo de cada acontecimiento productivo generado, desarrollada en 3 niveles de análisis del sistema productivo y construida tras la observación del sistema, con la metodología - MORP se prevé la posibilidad de su implementación en cualquier industria que desarrolle actividades productivas energéticamente intensivas, siguiendo una estructura flexible, de fácil aplicación y alta reproducibilidad que tiene como objetivo identificar las consecuencias productiva en el consumo energético, como medida para la toma de decisiones y generación de políticas energéticas que tengan en cuenta el consumo energético.

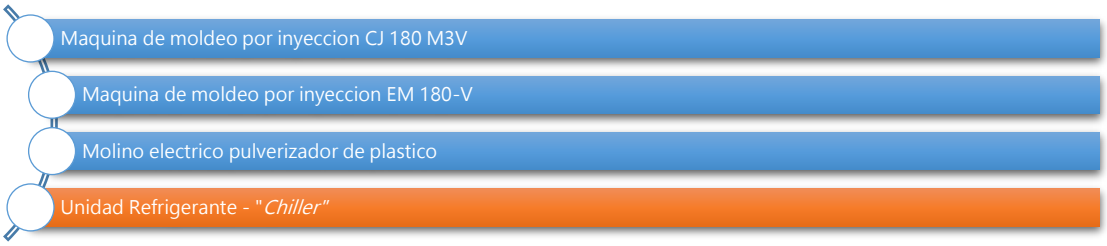
3.3.1. Nivel 1 Identificación y caracterización

Acorde a la filosofía de observación y registro en paralelo, el paso inicial es la caracterización los eventos que describen las actividades productivas, Eventos de Producción – EP y la identificación de los Componentes Energéticos del sistema (maquinaria y equipo que utilicen el recurso energético) para llevar a cabo las actividades productivas en el sistema.

3.3.1.1. Componentes Energéticos

Los componentes energéticos identificados en la organización son 3, Figura 24. Componentes Energéticos, su identificación estuvo basada en la frecuencia de uso, respuesta energética a la dinámica productiva de la organización y la potencia energética necesaria para su operación.

Figura 24. Componentes Energéticos



Fuente Autor

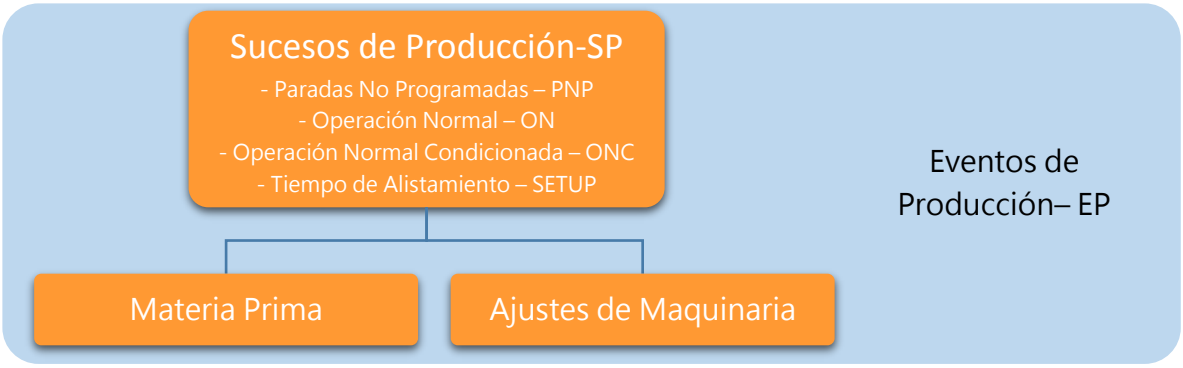
La unidad refrigerante -*Chiller*, a pesar de ser un dispositivo esencial para la operación de las máquinas de moldeo por inyección no se tuvo en cuenta como un componente energético a ser evaluado, debido a que su consumo energético es casi imperceptible y despreciable en comparación a las máquinas de moldeo por inyección y al Molino Eléctrico Pulverizador.

3.3.1.2. Eventos de Producción – EP

Los Eventos de Producción – EP describen las actividades del sistema productivo a nivel específico, se relacionan los acontecimientos que influyen de forma reducida y localizada en variaciones energéticas del sistema en las diferentes situaciones de operación rutinaria de la maquinaria, a continuación se describen los eventos:

- Sucesos de Producción relacionados con la descripción del estado de operación de la maquinaria, incluyen Alistamiento de Maquinaria, Sin Operación de maquinaria, Operación Normal – ON, Operación Normal Condicionada – ONC y Paradas No Programadas.
- Cargas de materia prima, características y tiempos de Preparación y Alimentación
- Ajustes de los parámetros de funcionamiento de la(s) maquinaria(s) en funcionamiento

Figura 25. Eventos de Producción – EP



Fuente Autor

Los Eventos de Producción – EP se encuentran descritos por los siguientes parámetros:

- Consumo energético, cada Evento Productivo genera una variación, fluctuación o modificación del consumo energético generado
- Influencia, la ocurrencia de un evento puede influenciar en la ocurrencia de otro evento
- Exclusividad e independencia, la ocurrencia de los Sucesos de Producción es exclusiva, dos sucesos no pueden suceder en simultaneo ya que se describe el estado de operación de la maquina

Carga de Materia Prima

El evento productivo Carga de Materia Prima describe el evento de producción donde se alimenta de mezcla de inyección la máquina de moldeo por inyección, el proceso de elaboración de la mezcla es realizado en el Dispositivo de Mezcla y Pigmentación limitado por sus dimensiones volumétricas, e incluye actividades de Selección, Mezcla, Pigmentación y Alimentación de la tolva de inyección, como elemento de trazabilidad 5 parámetros permiten

identificar sus características y composición, el seguimiento de las características de las cargas de materia prima es registrado en el 5 componente del Formato de Observación y Registro Sistema Productivo.

Tabla 19. Parámetros de identificación Cargas

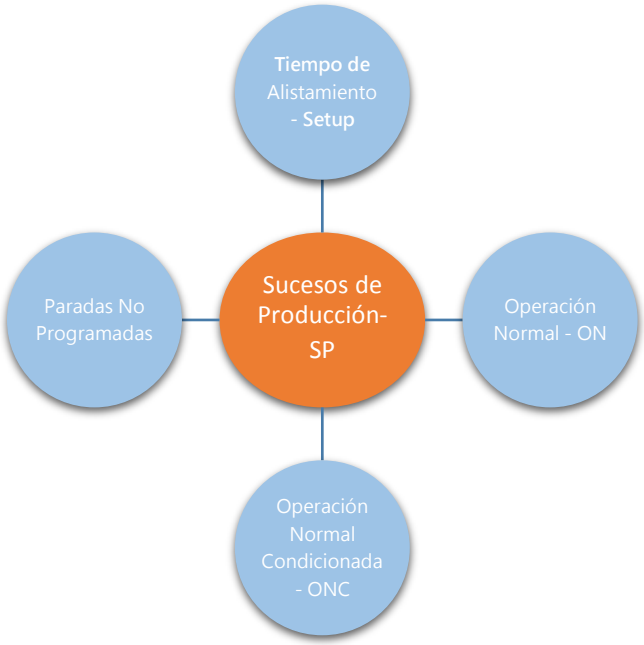
Parámetro	Descripción	Designación
Nombre	Designación cronológica y secuencial de las mezclas preparadas	27 letras alfabeto español
Polímero	Describe en Kilogramos la cantidad de polímero en la mezcla	Kilogramos
Color Polímero	Describe el color del polímero en la mezcla	1 Amarillo – 2 Naranja 3 Rojo – 4 Azul 5 Verde – 6 Blanco 7 Negro – 8 Gris
Pigmento	Describe en Kilogramos la cantidad de pigmento en la mezcla	Kilogramos
Color Pigmento	Describe el color del pigmento en la mezcla	1 Amarillo - 2 Naranja 3 Rojo - 4 Azul 5 Verde - 6 Blanco - 7 Negro

Fuente Autor

Sucesos de Producción - SP

Los Sucesos de Producción describen el estado de operación de la maquinaria.

Figura 26. Sucesos de Producción - SP



Fuente Autor

Tiempo de Alistamiento - Setup

Definido como *el tiempo requerido para preparar una máquina para la siguiente orden* (Hill, 2012) el tiempo de alistamiento en el sistema productivo se refiere al tiempo transcurrido entre el encendido de la máquina de moldeo por inyección, el calentamiento del tornillo y barril de inyección y la plastificación del material dentro del tornillo, hasta la inyección del primer producto conforme del lote de producción programado, vigilado por un operario quien enciende u opera la máquina, es el primer suceso de la sesión de inyección.

El parámetro de mayor influencia en el tiempo de alistamiento de la máquina de moldeo por inyección es la Temperatura, la Temperatura de Fusión del polímero utilizado, reflejada en el Barril de Inyección (3 Zonas), la temperatura del Molde de inyección, y la Temperatura de la Boquilla. Estos parámetros se programan en relación a la temperatura de Fusión del Polímero Utilizado y el Molde de Inyección, la Tabla 19. Temperaturas de fusión polímeros, relaciona las temperaturas teóricas de fusión de los polímeros utilizados para las secciones del tornillo y molde de inyección en la organización.

Tabla 20. Temperaturas de fusión polímeros

Parámetro			Polímero			
			PEBD-Polietileno Baja densidad	PEAD-Polietileno Alta Densidad	PP-Polipropileno	PETP-POLIETILENO TEREFTALATO
Temperatura	Barril	Zona Alimentación	160-180	140-160	160-180	240-260
		Zona Fundición	160-170	180-190	180-200	260-280
		Zona Dosificación	170-200	190-220	200-230	260-270
	Boquilla		170-180	170-190	180-190	250-260
	Molde		-	30-60	20-60	110-130

Fuente Autor - Adaptado de (CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO.LTD, 2010)

Operación Normal - ON

La Operación Normal – ON del sistema productivo describe la situación de operación efectiva de dos componentes del sistema, la maquinaria y las actividades complementarias de producción; en relación a las inyectoras activas describe el correcto funcionamiento de la plastificación, inyección y eyección, la presencia activa de la Unidad refrigerante y de la pulverización en relación al molino eléctrico; En relación a las actividades complementarias de producción se incluyen 1) Selección, mezcla y pigmentación de materia prima a ser inyectada, 2) Alimentación de la mezcla preparada, 3) El proceso de revisión de calidad del operario asignado a la maquina en operación, 4) Almacenamiento y empaque de productos terminados.

Operación Normal Condicionada - ONC

La Operación Normal Condicionada – ONC describe la presencia de anomalías, eventualidades u ocurrencias en relación al comportamiento de algún componente descrito en la Operación Normal, malfuncionamiento de alguno de los tres procesos de las máquinas de moldeo por inyección mencionados o del proceso de pulverización para el molino eléctrico, así como la ocurrencia de alguna situación que detenga, perturbe, altere o modifique las practicas descritas para las actividades complementarias de producción, en ambos casos no se hace referencia a ningún evento que ocasione la detención absoluta del funcionamiento de la maquinaria.

Paradas No Programadas - PNP

Los Sucesos de Producción definidos como Paradas No Programadas - PNP, describen aquellos que detienen la operación y funcionamiento de la maquinaria activa por completo, incluyendo interrupciones del estado Operación Normal – ON causados entre otros por:

- Materia prima fuera de especificación
- Falta de atención en la operación de la máquina (Alimentación, Asistencia a la eyección y Programación automática de la maquinaria, alimentación del Molino)
- Configuración de la maquinaria, detenciones causadas por Ciclos de Inyección incompletos a causa de configuraciones deficientes
- Desconexión o intermitencia del servicio de refrigeración de la Unidad Refrigerante - Chiller
- Mantenimientos correctivos en las instalaciones

Se identificaron 14 Paradas No Programadas – PNP en el Sistema Productivo en la Tabla 20. Paradas No Programadas se identifican, describen, relacionan sus posibles causas, asigna un posible responsable y se ofrece una solución, algunas descritas en el Manual de Instalación y Mantenimiento (CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO.LTD, 2010).

Tabla 21. Paradas No Programadas en el Sistema Productivo

Código	Parada	Descripción	Causa	Responsable	Solución
PNP1	Inyección obstaculizada (AL021)[31]	Presencia de elementos extraños (Vidrio, metal, rocas) en la boquilla de inyección o en la vela en el molde de inyección	Materia prima fuera de especificación	Administración - Operario	El operario debe detener la máquina y desmontar la boquilla de inyección para remover el elemento extraño
PNP2	Alarma Ciclo Largo (AL025)	El Ciclo de Inyección supera 50s sobre el Tiempo Objetivo predispuesto	Varios		El operario detiene el ciclo de inyección y extrae el producto en proceso del molde
PNP3	Alimentación insuficiente	En operación activa cesa la alimentación de mezcla de inyección en la máquina de moldeo por inyección	Desatención de operario hacia el proceso	Operario	El operario detiene la máquina y realiza una carga de materia prima reiniciando el Ciclo de Inyección
PNP4	Eyección incompleta	Los eyectores no completan el recorrido para la eyección del producto terminado luego de la apertura del molde	Error de diseño en el molde de inyección y configuración de la maquinaria	Molde de inyección- Operario	El operario detiene la máquina y extrae manualmente la pieza del molde de inyección
PNP5	Alarma Aceite insuficiente (AL003)	Insuficiencia del componente en el tanque de almacenamiento	Falta de control de consumo y reposición del aceite hidráulico	Administración - Operario	El operario detiene la máquina y repone el aceite en el tanque de almacenamiento

[31] El código de identificación de la alarma es descrito en el Manual de Instalación y Mantenimiento de la maquinaria, *Installation and maintenance manual EM180-V Ai-01 CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO.LTD*

Tabla 20. Paradas No Programadas en el Sistema Productivo (Continuación)

Código	Parada	Descripción	Causa	Responsable	Solución
PNP6	Inyección fuera de cauce	Falla, fatiga o ruptura de componente de encauce, genera derrame del material plastificado entre la boquilla y la placa fija de la unidad de cierre	Debido a las modificaciones en la boquilla de inyección un elemento adicional es añadido para encauzar el flujo de material plastificado hacia el molde de inyección (tapa metálica)	Administración - Operario	El operario detiene la máquina y retrae el tornillo de inyección para reemplazar el elemento de encauce y realizar mantenimiento del área
PNP7	Mantenimiento del imán	Remoción del elemento magnético artificial (imán) en el interior de la tolva de alimentación que remueve las partículas metálicas en la materia prima	Procedencia y especificaciones de materia prima reciclada	Proveedor de Materia Prima	Programación de mantenimiento preventivo para la limpieza del elemento
PNP8	Unidad refrigerante - Chiller	Reconexión de la Unidad refrigerante	La conexión precaria de la unidad y su origen artesanal genera interrupción en el servicio de refrigeración	Administración - Operario	Corrección y mantenimiento de la Unidad refrigerante y su conexión eléctrica
PNP9	Obstrucción de tolva	Grandes pedazos de materia prima obstaculizan la tolva de alimentación	Materia prima fuera de especificación tamaño	Proveedor de Materia Prima	El operario procede a detener la máquina y extrae la pieza que obstaculiza la tolva
PNP10	Ruptura maquinaria	Desajuste, ruptura o falla de algún componente mecánico de la maquinaria	Componentes mecánicos internos de la maquina	Administración - Operario	Detención de la máquina e inspección visual de componentes
PNP11	Alarma temperatura (AL043)	Temperaturas del tornillo de inyección o aceite hidráulico sobre el límite establecido	Bandas de calentamiento exterior en mal estado	Administración - Operario	Detención de la maquina ajuste del límite de temperatura y reinicio del Ciclo
PNP12	Alarma temperatura (AL002)	Temperaturas del tornillo de inyección o aceite hidráulico bajo del límite establecido	Bandas de calentamiento exterior en mal estado	Administración - Operario	Detención de la maquina ajuste del límite de temperatura y reinicio del Ciclo
PNP13	Ocio operativo	Maquina sin funcionamiento, el operario no configura la operación automática y la maquina no inicia los ciclos de inyección	Descuido del operario	Operario	El operario configura la máquina para Operación Automática
PNP14	Instalaciones	Acontecimientos ajenos a la operación y funcionamiento de la maquinaria que ocasionan su detención	Incidentes en las instalaciones	Administración - Operario	Reparación, adecuación o solución del evento

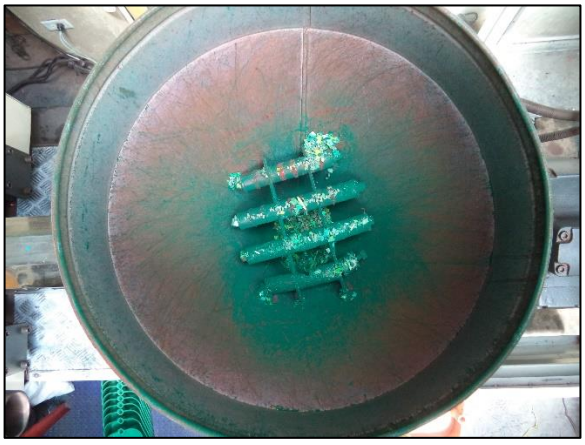
Fuente Autor

Fotografía 30. Parada no programada 1 - Inyección obstaculizada

Fotografía 31. Componente metalico de encauce (Tapa metalica)

Fotografía 32. Parada no programada 6 - Inyección fuera de cauce

Fotografía 33. Paradas no programada 7 y 9 - Obstrucción de tolva

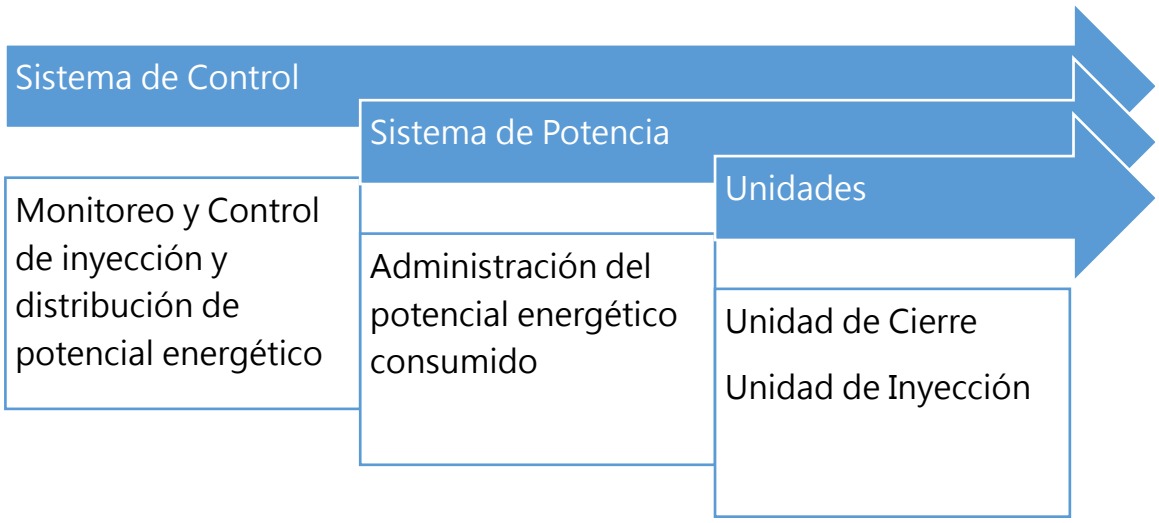


Fuente Autor

Ajustes de Maquinaria

Los ajustes de maquinaria como evento de producción son configuraciones de Sistema de Control y el de Potencia en la máquina de moldeo por inyección con consecuencias en las unidades de Cierre e Inyección, los sistemas pueden ser configurados para el procesamiento de diferentes polímeros termoplásticos, así como innumerables formas y tamaños de procesamiento, el sistema de control como aquel de mayor magnitud en la maquina integra el resto de componentes mecánicos y electrónicos, los ajustes de configuración se realizan mediante la interacción con este y se ven reflejados en la distribución del potencial energético.

Figura 27. Interacción Componentes maquinaria ajuste de parámetros



Fuente Autor

En el análisis del sistema productivo se identificaron 12 parámetros de configuración de la máquina de moldeo por inyección, en función del polímero y producto empleado, cada uno de los ajustes se presenta en los Sucesos de Producción exceptuando el suceso Sin Operación -SO.

Tabla 22. Ajustes de Maquina de Moldeo por Inyección Identificados

AJUSTES		VARIABLE RELACIONADA
1	AJUSTE REFERENCIA (TEMPERATURA) AUMENTO	Temperatura barril etapa 1-6
2	AJUSTE REFERENCIA (TEMPERATURA) DISMINUCIÓN	Temperatura barril etapa 1-6
3	AJUSTE TEMPORIZADOR ENFRIANDO AUMENTO	Tiempo de enfriamiento
4	AJUSTE TEMPORIZADOR ENFRIANDO DISMINUCIÓN	Tiempo de enfriamiento
5	AJUSTE PLAST./DECOMP. PLAST 1 POS. AUMENTO	Ajuste Plastificación1 - Posición
6	AJUSTE PLAST./DECOMP. PLAST 1 POS. DISMINUCIÓN	Ajuste Plastificación1 - Posición
7	AJUSTE EYECTORES	Apertura Eyectores - Distancia
8	ESTADÍSTICAS TIEMPO INYECCIÓN (OBJETIVO)	Tiempo de inyección
9	ESTADÍSTICAS TIEMPO PLASTIFICACIÓN (OBJETIVO)	Tiempo de plastificación
10	REPOSICIÓN DE ACEITE	Sin variable Relacionada
11	AJUSTE INYECCIÓN INYEC2 PRESIÓN %	Sin variable Relacionada
12	AJUSTE APERTURA MOLDE APERTURA AUX	Apertura de Molde

Fuente Autor

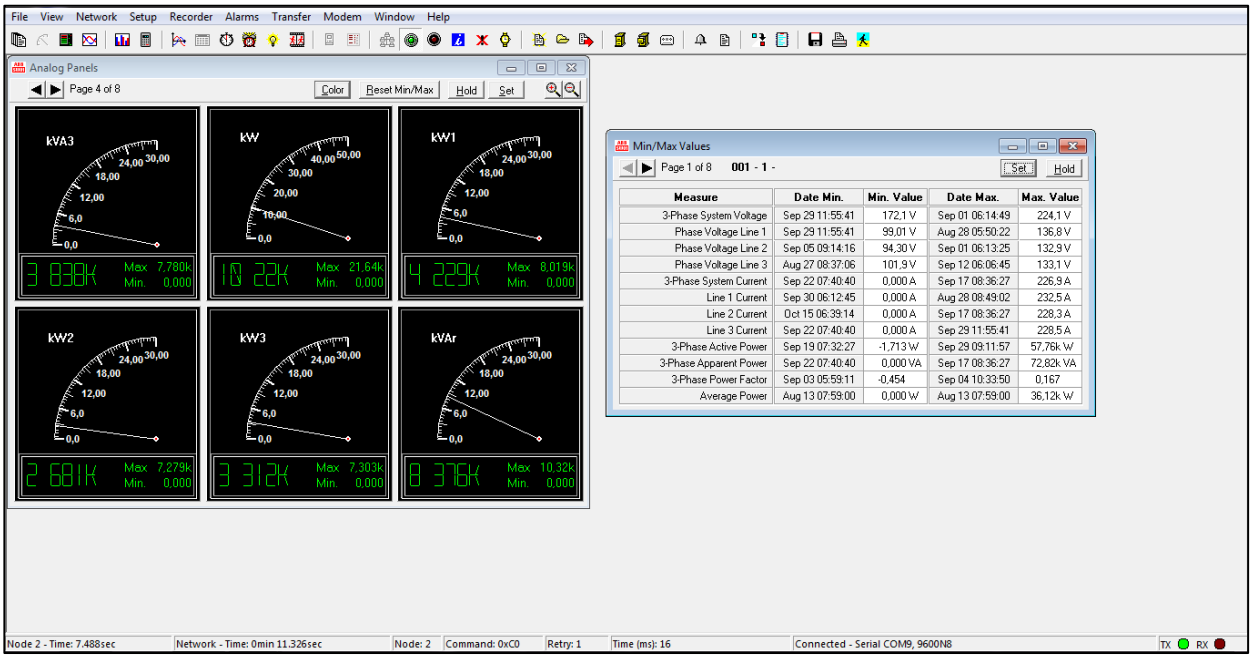
3.3.2. Nivel 2 Medios Tecnológicos y Formatos productivos

Tras establecer los componentes energéticos en la organización y describir el proceso, se procede a evaluar los medios tecnológicos necesarios para intervenir, monitorear y registrar las variables energéticas establecidas, haciendo un seguimiento de ellas que permita relacionarlas con el formato productivo adaptado para el ejercicio de registro y seguimiento de los parámetros productivos, con el formato de monitoreo y los medios tecnológicos instalados según las necesidades de la organización se complementan las dos perspectivas del análisis.

3.3.2.1. Analizador Eléctrico Multifunción

Las necesidades de monitoreo energético y análisis eléctrico identificadas en el sistema sugirieron la utilización de un medio tecnológico que midiera, transmitiera y almacenara registros eléctricos directamente en una computadora para su posterior procesamiento, el Dispositivo ABB ANR96-230 Analizador Eléctrico Multifunción, como un instrumento electrónico de medición diseñado para monitorear, almacenar y analizar todas las variables energéticas en una línea de distribución[32] (Energy Vortex, 2016) fue el mecanismo seleccionado acompañado por el software de registro y seguimiento de datos ABB SACE S.p.A 2003 SW.-128 versión 4.12 que operando en conjunto permitieron llevar a cabo las tareas de monitoreo y registro de las variables energéticas en el sistema.

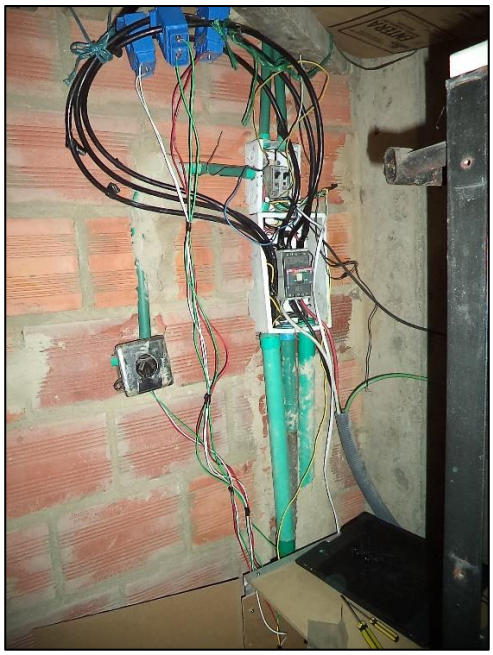
Fotografía 34. Registros en tiempo real software ABB SACE S.p.A 2003 SW.-128 versión 4.12



[32] Línea de transmisión en referencia a un cable que lleva electricidad a través de un sistema de transmisión, o la ruta física recorrida por la electricidad en su camino desde el productor hasta el consumidor. "Texto en ingles"

Fotografía 35. Gaveta Dispositivo ABB ANR96-230

Fotografía 36. Instalación Dispositivo ABB ANR96-230



Fuente Autor

3.3.2.2. Formato de Observación y Registro Sistema Productivo

La retroalimentación tras revisión bibliográfica y observación del sistema productivo permitió establecer las variables con mejor ajuste al sistema, de uso exclusivo en las máquinas de moldeo por inyección como Componentes Energéticos del Sistema Productivo, el formato de observación permite realizar el ejercicio de recolección de datos productivos (ver Anexo A. Formato de Observación y Registro Sistema Productivo).

Figura 28. Formato de Observación Sistema Productivo

1. Información diaria	
2. Materia prima y análisis muestral	
2.1. Cargas ejecutadas	2.2. Análisis temperatura, Ciclos de inyección y control de calidad
3. Ajustes de maquinaria	
3.1. Identificación carga ajustada	3.2. Análisis muestral temperatura
4. Paradas no programadas	
4.1. Identificación carga en uso	4.2. Análisis muestral temperatura
5. Información general	
6. Caracterización materia prima preparada	
7. Comentarios	

Fuente Autor

El diseño final permite llevar un seguimiento individual y continúo de los Eventos de Producción – EP del sistema en cada máquina en funcionamiento, en relación a la presencia de los diversos escenarios de producción agiliza el procesamiento de la información recolectada a diario durante las Sesiones de Observación y Registro - SOR.

1. Información diaria: relaciona los aspectos descriptivos de la sesión de observación, información general de ciclos de inyección, maquina en observación, información del operario y analista en la sesión así como información de la cronología de la sesión de observación y del rendimiento de la misma una vez acabado el ejercicio diario.
2. Materia prima y análisis muestral: sección que relaciona la identificación asignada a las cargas de materia prima y el análisis de temperatura de fusión del polímero utilizado.
    2.1. Cargas ejecutadas: describe la identificación asignada a las cargas de materia prima alimentadas en la tolva de alimentación (Carga), la hora de carga y el peso en kg.
    2.2. Análisis muestral temperatura - ciclos de inyección y control de calidad: describe el muestreo de la hora de la observación (Muestra), el ciclo (ciclo de inyección), cantidad de productos no conformes (No conforme), parámetros de temperatura del barril y aceite, (T1, T2, T3, T4, T5, T6, Aceite) y observaciones.
3. Ajustes de maquinaria: esta sección relaciona las 12 configuraciones manuales de la máquina de moldeo por inyección identificadas.
    3.1. Identificación carga ajustada: se describe la identificación asignada de la carga, la hora y ciclo de inyección donde se realiza el ajuste.
    3.2. Análisis muestral temperatura: describe el muestreo de los parámetros de temperatura del barril y aceite
4. Paradas no programadas: en esta sección se monitorea la presencia de alguna de las 14 paradas no programadas identificadas en el sistema.
    4.1. Identificación carga en uso: Identificación alfabética de la parada no programada, registro de la carga del suceso, hora de inicio y fin, y ciclo de inyección.
    4.2. Análisis muestral temperatura: describe el muestreo de los parámetros de temperatura del barril y aceite en la parada.
5. Información general: parámetros de utilización de la máquina, el molde utilizado, tiempo de ciclo y nivel de aceite, nombre del operario y analista.
6. Caracterización materia prima preparada: descripción detallada de las preparaciones de materia prima y pigmento utilizadas en las tandas de producción programada, asignación de identificación alfabética, hora de inicio y fin así como la composición de la preparación.
7. Comentarios: reservado para comentarios adicionales del proceso de producción

3.3.3. Nivel 3 Observación y registro

Caracterizado por su flexibilidad, este nivel específico busca mantener y reflejar la estructura en paralelo de la Metodología de Observación y Registro en Paralelo - MORP, para la recolección de los registros productivos y energéticos, estableciendo la programación de la obtención de datos, los niveles de muestreo y la frecuencia de registro de los parámetros energéticos y productivos para el análisis energético posterior, apoyándose en medios tecnológicos desde la perspectiva energética de las variables energéticas y en el formato de observación y registro para los acontecimientos productivos.

El nivel de observación y muestreo estadístico del sistema de producción se programó para la obtención de la mayor cantidad de datos útiles según los recursos técnicos disponibles y en directa relación al horizonte de planeación establecido para el modelo de optimización matemática lineal diseñado, un periodo equivalente a 4 semanas de producción, la programación incluyo todos los acontecimientos productivos descritos en el primer nivel de la Metodología de Observación y Registro - MORP.

El monitoreo realizado por Dispositivo ABB ANR96-230 Analizador Eléctrico Multifunción, soportando al perspectiva energética fue preparado para para medir, calcular y registrar las variables energéticas con una frecuencia de 1 registro/minuto[33], de forma ininterrumpida con un registro de 360 registros diarios o 6 horas, reflejando de forma instantánea la incidencia energética de los Eventos de Producción – EP (Ver Anexo B. Registros Energéticos Dispositivo ABB ANR96-230), la Tabla 22. Estructura registros energéticos Dispositivo ABB ANR96-230 describe la estructura de los registros obtenidos en las Sesiones de Observación y Registro – SOR- por el dispositivo ABB ANR96-230 en el software de registro ABB SACE S.p.A 2003 SW.-128 versión 4.12.

Tabla 23. Estructura registros energéticos Dispositivo ABB ANR96-230

Registros Energéticos				
Fecha	Hora	Variable Energética 1	Variable Energética 2	Variable Energética 3
31/07/2014	07:39:00	Registro 1 Variable 1	Registro 1 Variable 2	Registro 1 Variable 3
31/07/2014	07:40:00	Registro 2 Variable 1	Registro 2 Variable 2	Registro 2 Variable 3
31/07/2014	07:41:00	Registro 3 Variable 1	Registro 3 Variable 2	Registro 3 Variable 3
Día de Medición	**Horas, minutos y segundos del registro obtenido**	**Incluidas 7 variables medidas y 32 calculadas para un total de 39 variables energéticas consideradas, cada variable se registra en una fila (registro) y columna (variable) independiente.**		

Fuente Autor

[33] Límite inferior en minutos de la capacidad de cálculo, registro y almacenamiento del dispositivo ABB ANR96-230 y el software ABB SACE S.p.A 2003 SW.-128 versión 4.12 - registro obtenido al finalizar cada minuto transcurrido

En relación a la perspectiva productiva en las Sesiones de Observación y Registro – SOR- la frecuencia y momento de obtención de los datos registrados para cada sección del Formato de Observación y Registro Sistema Productivo es descrita en la Tabla 23. Estructura registros Productivos Formato de Observación y Registro a continuación

Tabla 24. Estructura registros Productivos Formato de Observación y Registro

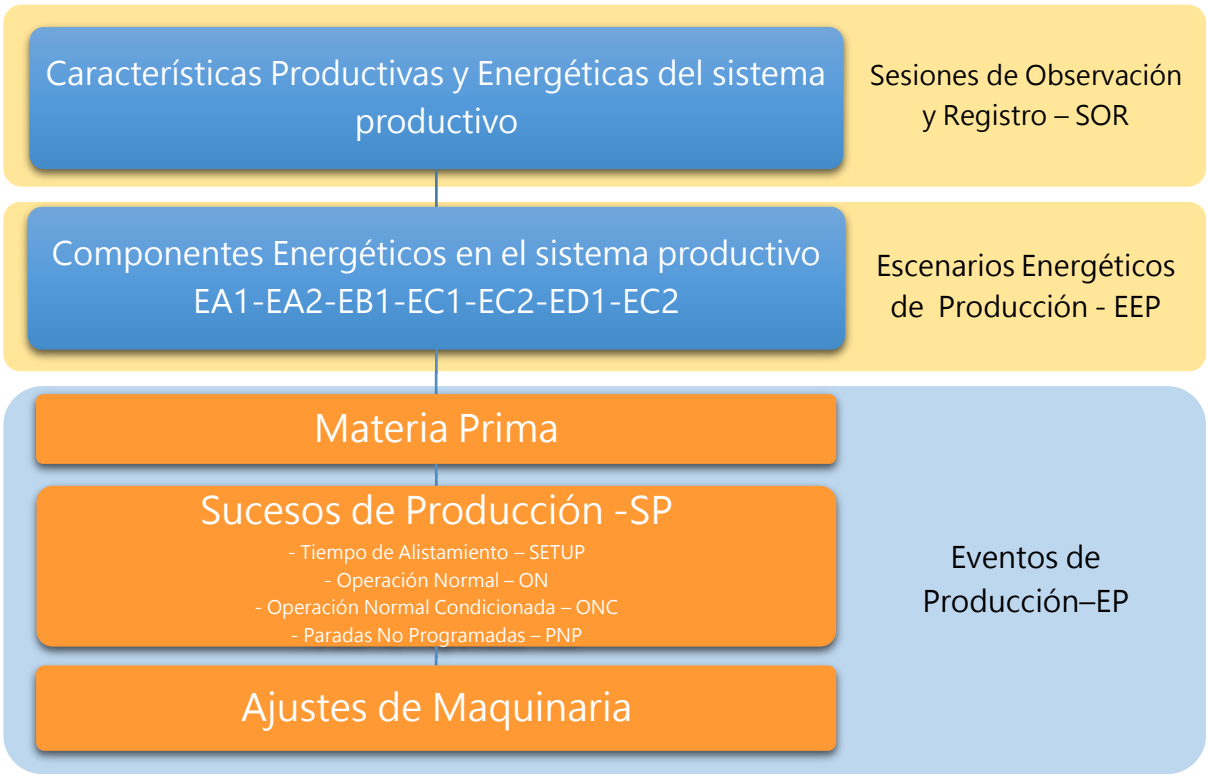
Componentes formato	Registro
1. Información diaria	Una vez por Sesión de Observación y Registro
2. Materia prima y análisis muestral	
2.1. Cargas ejecutadas	Al alimentar la tolva de Inyección con una carga de compuesto de inyección
2.2. Análisis muestral temperatura - ciclos de inyección y control de calidad	Al iniciar cada hora y secuencialmente cada 15 minutos hasta finalizar la sesión, temperaturas de barril y Aceite, comentarios
3. Ajustes de maquinaria	
3.1. Identificación carga ajustada	Al momento de realizar un ajuste de configuración de la máquina de moldeo por inyección activa
3.2. Análisis muestral temperatura	Temperaturas de barril y Aceite al momento del ajuste de maquinaria, comentarios
4. Paradas no programadas - PNP	
4.1. Identificación carga en uso	Al momento de presentarse la PNP
4.2. Análisis muestral temperatura	Temperaturas de barril y Aceite al momento de la PNP, comentarios
5. Información general	Al iniciar la Sesión de Observación y Registro parámetros de inyección
6. Caracterización materia prima preparada	Al preparar cada compuesto de inyección designación alfabética secuencial
7. Comentarios	Al momento percibir el funcionamiento del molino de inyección y anomalías generales de la planta de producción

Fuente Autor

3.4. METODOLOGÍA INTEGRADA PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN - MIAI

La Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, es una metodología de análisis de la información en sistemas energéticamente intensivos que confronta en paralelo registros productivos con energéticos. Desde lo genérico a lo específico, el análisis incluye la descripción en 5 escalas jerárquicas de los cambios y variaciones energéticas del sistema, en base a la magnitud de cada una frente al sistema productivo general, inicialmente por sus características productivas y energéticas en Sesiones de Observación y Registro – SOR, luego con la caracterización de los escenarios de análisis energético basados en la utilización de la maquinaria disponible, Escenarios Energéticos de Producción – EEP, las ultimas 3 escalas jerárquicas se integran como los Eventos de Producción – EP descritos en el primer nivel de la Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP, *Identificación y caracterización,* las características de las cargas de Materia Prima inicialmente y el análisis de los Sucesos de Producción como descripción del estado actual de la maquinaria activa y finalmente los Ajustes de maquinaria identificados como la escala inferior de incidencia energética, a continuación se describe la estructura jerárquica de la metodología integrada para el análisis de la información.

Figura 29. Metodología Integrada para el Análisis de la Información-MIAI



Fuente Autor

3.4.1. Sesiones de Observación y Registro – SOR

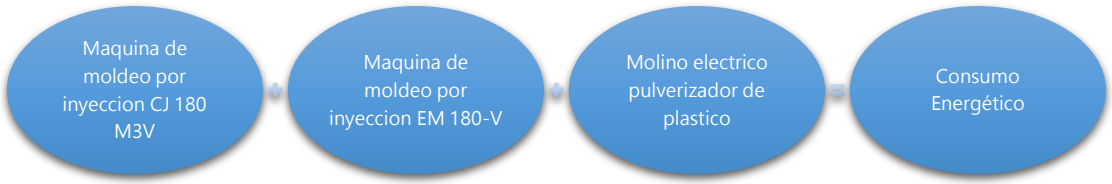
Descrito en la escala jerárquica inicial de la metodología MIAI, ver Figura 29, el parámetro inicial de análisis de la información fue la identificación de las sesiones de observación y registro del sistema productivo, las jornadas de operación de la organización seleccionadas para la recolección de datos, evidenciando el muestreo realizado en el tercer nivel de Metodología de Observación y Registro en Paralelo – MORP, *Nivel 3 Observación y Registro*, donde programados para realizarse en el primer turno de trabajo de la jornada de producción, se realizaron de forma ininterrumpida un registro de 360 registros del Dispositivo ABB ANR96-230 Analizador Eléctrico Multifunción o aproximadamente 6 horas, para la caracterización energética del comportamiento productivo del sistema y 24+1 registros de seguimiento productivo de la sección del Formato de Observación y Registro Sistema Productivo *2.2 Análisis muestral temperatura - ciclos de inyección y control de calidad* .

3.4.2. Escenarios Energéticos de Producción - EEP

Para la caracterización y establecimiento de los Escenarios Energéticos de Producción - EEP desde la perspectiva de uso de los Componentes Energéticos se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Para el estudio de caso existen 3 Componentes Energéticos de consumo eléctrico considerados, dos máquinas de moldeo por inyección y un Molino Eléctrico Pulverizador de plástico que permite reciclar *in situ* no conformes y sobrantes.
- La utilización de los 3 Componentes Energéticos del consumo eléctrico está influenciada por la programación de la producción estimada.
- Para la operación de cada Componente Energético con excepción de la Unidad refrigerante, es necesario la presencia permanente de un operario.

Figura 30. Componentes Energéticos del Consumo Eléctrico



Fuente Autor

La identificacion de los Escenarios Energéticos de Producción - EEP se enmarco en los parámetros de utilización de los Componentes Energéticos, sirviendo de base para un análisis de consumo posterior que permitió realizar una caracterización basada en los parámetros de uso energético, la exclusividad de ocurrencia de cada uno describe la naturaleza del sistema

productivo, los Escenarios describen la situación actual de utilización en determinado momento de los Componentes Energéticos en la organización así como la posible simultaneidad de uso de la maquinaria disponible, a continuación se describen los Escenarios Energéticos de Producción - EEP establecidos:

Tabla 25. Escenarios Energéticos de Producción - EEP – Componentes Energéticos

Escenario	Inyectora CJ 180M3V	Inyectora EM 180-V	Molino Eléctrico Pulverizador de plástico	Descripción
EA1	1	0	0	Operación activa individual de la inyectora CJ 180 M3V
EA2	1	0	1	Operación activa de la inyectora CJ 180 M3V y el Molino Eléctrico Pulverizador
EB1	0	1	0	Operación activa individual de la inyectora EM 180-V
EB2	0	1	1	Operación activa de la inyectora EM 180-V y el Molino Eléctrico Pulverizador
EC1	1	1	0	Operación activa de la inyectora EM 180-V y la inyectora CJ 180 M3V
EC2	1	1	1	Operación activa de todos los Componentes Energéticos de la organización
ED1[34]	0	0	0	Sin operación activa de ningún componente energético de la organización
ED2	0	0	1	Operación activa individual del Molino Eléctrico Pulverizador
1=Encendido				
0=Apagado				

Fuente Autor

Las características generales de los Escenarios Energéticos de Producción - EEP establecidos son:

- Dos estados describen la utilización de las maquinas 1=Encendido (incluyendo tiempos de alistamiento <*Setup*>) y 0=apagado (maquina en estado de inactividad total).
- Inclusión, incluyendo todos los Componentes Energéticos de la organización se describe la combinatoria lógica de los estados de operación de las máquinas y su simultaneidad de uso.
- Exclusividad e independencia, la ocurrencia de los escenarios es exclusiva, dos escenarios no pueden suceder en simultaneo ya que se describe la utilización de las maquinas en un determinado momento.
- Variación, debido a que cada escenario responde a un momento especifico de utilización de las maquinas en el sistema productivo, la descripción del sistema por los

[34] Debido a la ausencia de discriminación entre el uso residencial y productivo de la energía consumida este escenario describe el comportamiento residencial del consumo

escenarios cambiara cada vez que se encienda (1=Encendido) o apague (0=apagado) uno de los Componentes Energéticos.

- Simultaneidad, a pesar de la exclusividad en los escenarios productivos, existe simultaneidad en la utilización de la maquinaria, descrito por algunos escenarios en particular.

3.4.3. Análisis de la Información

Tras completar la jerarquización de datos con la descripción de los niveles superiores en la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, se realiza el análisis de incidencia energética entre las variables productivas y energéticas utilizando la metodología del coeficiente de correlación de Pearson como parámetro de selección en la construcción del modelo de programación lineal, el análisis de incidencia energética se lleva a cabo siguiendo las Líneas de Análisis Energético, ramificaciones de análisis que basadas en las dinámica de producción siguen la estructura jerárquica, identificando los Escenarios Energéticos de Producción - EEP y Eventos de Producción –EP de mayor ocurrencia en el sistema como parámetro de selección (ver Anexo C. Frecuencia Eventos de Producción – EP), teniendo en cuenta las perspectivas en paralelo descritas en la Metodología de Observación y Registro en Paralelo – MORP.

3.4.3.1. Líneas de Análisis Energético

Tras identificar los escenarios Energéticos de Producción - EEP donde se presentaron, las mayores Cargas de materia prima, Sucesos de Producción y Ajustes de maquinaria se establecieron dos Líneas de Análisis Energético con la mayoría de Eventos de producción - EP registrados, la Tabla 25. Líneas de Análisis Energético, estos describen la operación de 1 o 2 máquinas de moldeo por inyección en el sistema, en estas líneas de análisis se implementan la metodología de correlación de Pearson entre las variables productivas como variables independientes del análisis y las variables energéticas como las dependientes, identificando aquellas con los índices de correlación lineal más *fuertes* en relación a los rangos establecidos.

Tabla 26. Líneas de Análisis Energético

Línea de análisis energético	Sesiones de Observación y Registro – SOR	Escenarios Energéticos de Producción – EEP	Eventos de Producción - EP						Descripción
			Sucesos de Producción		Cargas de Materia Prima		Ajustes de Maquinaria		
EA1	20	315	315	45,3%	112	55,2%	101	64,7%	Operación activa individual Inyectora CJ 180 M3V
EC1	8	164	328	47,2%	77	37,9%	46	29,5%	Operación activa Inyectora EM 180-V e Inyectora CJ 180 M3V
Total			643	92,5%	189	93,1%	147	94,2%	

Fuente Autor

Para el análisis de las variables energéticas y productivas de cada escala jerárquica en cada Línea de Análisis Energético se confrontaron los datos energéticos registrados por el Dispositivo ABB ANR96-230 Analizador Eléctrico Multifunción (variables dependientes) con los productivos obtenidos en el Formato de Observación y Registro Sistema Productivo (variables independientes) bajo el parámetro del momento de ocurrencia de cada Escenario Energético de Producción – EEP y Evento de Producción – EP, (ver Anexo D. Registro Integrado Producción-Energía), la conceptualización de la relación energética y productiva de los registros obtenidos desde ambas perspectivas se muestra a continuación.

Tabla 27. Conceptualización Registro Integrado Producción-Energía

Formato de observación y registro sistema productivo								Analizador eléctrico multifunción
Sesiones de observación y registro – SOR	Escenarios energéticos de producción - EEP				Eventos de producción – EP			Perspectiva energética
Fecha	Inicio	Fin	Duración	Escenario	Materia prima	Ajustes de maquinaria	Sucesos de producción – SP	Variables energéticas
Fecha de sesión de observación y registro – sor	Inicio/fin duración de escenario energético de producción - eep, evento de producción - ep, o suceso de producción			Identificación	Parámetros de identificación cargas	Ajuste realizado en maquinaria	Suceso de producción presentado	Promediadas o diferenciales según variable

Fuente Autor

Tras la confrontación de la información obtenida desde la perspectiva energética y productiva se procedió a realizar el Análisis de Independencia de los registros bajo la metodología de coeficientes de correlación de Pearson o prueba de correlación estadística muestral de Pearson (Hill, 2012), utilizando las variables descritas en el registro integrado para la obtención de los índices que describen las relaciones existentes entre variables productivas como independientes y variables del desempeño energético identificado como dependientes, como base en la construcción del modelo de programación lineal, que busca identificar aquellos eventos de producción que mayor incidencia tienen en el consumo energético sensibles a su manipulación y asignación.

La metodología del coeficiente de correlación de Pearson como una medida de la independencia lineal entre dos variables describe su comportamiento en conjunto, como una evaluación numérica adimensional con un valor entre -1 y +1 inclusivos, donde 1 es una correlación total positiva lineal, describiendo un crecimiento positivo entre ambas variables, 0 es no correlación lineal, como la independencia total de relación entre ellas y -1 como la correlación total negativa lineal, describiendo el crecimiento de una variable ante el

decrecimiento de la otra. Para el análisis correlacional de las variables energéticas y las productivas los límites descritos en la Tabla 27. Intervalos de Aceptación Coeficientes de Correlación Pearson, fueron establecidos para definir la aceptación o no, de una fuerte correlación estadística lineal entre variables, que explicara la influencia de la dinámica de producción en el consumo energético dentro de la organización.

Tabla 28. Intervalos de Aceptación Coeficientes de Correlación Pearson

Alta Correlación		Mediana Correlación		Nula Correlación			Mediana Correlación		Alta Correlación	
-1	-0,9	-0,8	-0,4	-0,3	0	0,3	0,4	0,8	0,9	1

Fuente Autor

Solo aquellas pruebas de correlación de Pearson que resultaron en coeficientes incluidos en el intervalo de Alta correlación fueron tenidos en cuenta para la construcción del modelo matemático, en base a la importancia de incluir aquellas relaciones de la dinámica de producción que permitan inferir alguna influencia de las variables productivas como independientes en las variables que describen el comportamiento energético de la organización como dependientes, sujetas manipulación y asignación según el modelo propuesto.

Grupos de variables

Establecidos los límites de aceptación se definieron 3 grupos de variables para cada Línea de Análisis Energético en la escala jerárquica Eventos de Producción – EP, de la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI como variables independientes en la prueba de correlación estadística muestral de Pearson, a continuación se describen los grupos de variables independientes.

Tabla 29. Variables Productivas Líneas de Análisis Energético

Eventos de Producción	Variables		Unidad	Numero de variables
Cargas de Materia prima	Procesamiento	Tamaño carga	Kg	1
		Polímero Carga Materia Prima	kg	4
		Temperatura de fusión y Aceite	°C	7
		Procedencia	kg	3
		Pigmento Carga Materia Prima	Kg	1
	Físicas	Color	Nominal	1
		Medio de transporte	Nominal	1
	Operación	Tiempo de preparación	min	1
Total				19
Sucesos de producción	Operación	Tiempo de funcionamiento Setup	min	1
		Tiempo de funcionamiento ON	min	1
		Tiempo de funcionamiento ONC	min	1
		Tiempo de funcionamiento PNP	min	14[35]
Total				17
Ajustes de maquinaria	Ajuste referencia (temperatura) aumento y disminución - Fluctuación	Temperatura barril etapa 1-6 y aceite	°C	7[36]
	Tiempo de enfriamiento (Ajuste Temporizador) Fluctuación	Tiempo de enfriamiento	s	1
	Ajuste plast./decomp. plast 1 pos. Aumento y disminución - Fluctuación	Ajuste Plastificación1 - Posición	mm	1
Total				9

Fuente Autor

Seleccionadas las variables independientes en los Eventos de producción – EP, se seleccionaron 15 variables energéticas como dependientes en base a la mayor respuesta y fluctuación frente a los diferentes Eventos de producción – EP de acuerdo a la metodología de confrontación de momento de ocurrencia y duración.

[35] En referencia a la duración de 14 tipos de Paradas No Programadas – PNP identificadas en el sistema

[36] En referencia a la sumatoria de las 6 temperaturas del barril y el aceite

Tabla 30. Variables Energéticas Líneas de Análisis Energético

Variables Energéticas			
Variable	Nomenclatura	Unidad	Numero de variables
Voltaje del sistema 3 fases RMS	V	Voltio - V	1
Corriente del sistema 3 fases RMS	I	Amperio - A	1
Factor de potencia sistema 3 fases	PF	(0-1)	1
Potencia Aparente sistema 3 fases	S	Voltamperio - VA	1
Potencia Activa sistema 3 fases	P	Vatio - W	1
Potencia Reactiva sistema 3 fases	Q	Voltamperio reactivo - VAr	1
Energía Activa sistema 3 fases	Wh+	kilovatio/hora - kWh	1
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	VArh+	Voltamperio reactivo/hora - kVArh	1
THD Voltaje Línea 1	THD VL1	Porcentaje	1
THD Voltaje Línea 2	THD VL2	Porcentaje	1
THD Voltaje Línea 3	THD VL3	Porcentaje	1
Promedio potencia activa	Pavg	Vatio	1
THD Corriente Línea 1	THD IL1	Porcentaje	1
THD Corriente Línea 2	THD IL2	Porcentaje	1
THD Corriente Línea 3	THD IL3	Porcentaje	1

Fuente Autor

Línea de Análisis Energético EA1

La Línea de Análisis Energético EA1 es descrita por la Operación activa individual de la inyectora CJ 180 M3V, los resultados del análisis de las variables productivas independientes y las variables energéticas dependientes bajo la metodología de coeficientes de correlación de Pearson o prueba de correlación estadística muestral de Pearson en cada grupo de variables se muestra a continuación.

Cargas de Materia Prima

Los coeficientes de correlación de Pearson de las variables de Procesamiento del Grupo Cargas de Materia Prima, se relacionan en la Tabla 30. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 1 – Línea EA1 y describen 112 cargas de materia prima en el escenario EA1.

Tabla 31. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 1 – Línea EA1

Coeficientes de correlación Pearson	Procesamiento					
	Tamaño de Carga (kg)	Polipropileno (kg)	Procedencia			Pigmento (kg)
			Molido (%)	Reciclado (%)	Pellet (%)	
Voltaje del sistema 3 fases RMS	-0,14	-0,14	-0,15	0,07	0,02	-0,06
Corriente del sistema 3 fases RMS	0,23	0,23	0,21	-0,10	0,06	0,22
Factor de potencia sistema 3 fases	0,42	0,42	0,23	0,03	0,06	0,38
Potencia Aparente sistema 3 fases	0,22	0,22	0,21	-0,10	0,06	0,18
Potencia Activa sistema 3 fases	0,20	0,20	0,21	-0,12	0,06	0,15
Potencia Reactiva sistema 3 fases	0,26	0,26	0,17	-0,02	0,04	0,26
Energía Activa sistema 3 fases	0,50	0,50	0,31	0,03	-0,06	0,18
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	0,52	0,52	0,29	0,06	-0,04	0,17
THD Voltaje Línea 1	-0,03	-0,03	0,02	-0,04	-0,02	-0,07
THD Voltaje Línea 2	0,02	0,02	0,09	-0,08	-0,02	-0,05
THD Voltaje Línea 3	0,05	0,05	0,15	-0,15	0,03	-0,04
Promedio potencia activa	0,32	0,32	0,30	-0,11	0,01	0,31
THD Corriente Línea 1	0,13	0,13	0,28	-0,25	0,06	0,04
THD Corriente Línea 2	0,01	0,01	0,19	-0,27	0,16	-0,05
THD Corriente Línea 3	0,06	0,06	0,13	-0,10	-0,02	0,07

Fuente Autor

Los coeficientes de correlación de Pearson de las variables de tipo Física, Operación y Procesamiento (Temperatura) son descritos a continuación.

Tabla 32. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 2 – Línea EA1

Coeficientes de correlación Pearson	Físicas		Operación	Procesamiento						
	Color Mezcla	Medio	Tiempo de Preparación (min)	Temperatura tornillo °C						
				T1	T2	T3	T4	T5	T6	Aceite
Voltaje del sistema 3 fases RMS	0,06	0,03	-0,12	-0,06	-0,04	0,06	-0,01	-0,10	-0,15	-0,10
Corriente del sistema 3 fases RMS	0,12	-0,03	0,32	0,21	0,20	-0,01	0,18	0,29	0,29	0,22
Factor de potencia sistema 3 fases	0,19	0,03	0,25	0,56	0,39	0,09	0,37	0,35	0,40	0,30
Potencia Aparente sistema 3 fases	0,11	-0,02	0,28	0,19	0,20	0,00	0,19	0,25	0,23	0,18
Potencia Activa sistema 3 fases	0,04	-0,04	0,32	0,13	0,16	-0,03	0,14	0,27	0,22	0,19
Potencia Reactiva sistema 3 fases	0,29	0,03	0,13	0,38	0,30	0,07	0,32	0,20	0,25	0,15
Energía Activa sistema 3 fases	0,04	-0,15	0,21	0,19	0,08	0,00	0,04	0,23	0,21	0,20
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	0,04	-0,15	0,18	0,23	0,12	0,05	0,10	0,20	0,15	0,17
THD Voltaje Línea 1	-0,02	0,10	-0,03	-0,08	-0,12	-0,08	-0,11	0,04	0,08	0,01
THD Voltaje Línea 2	0,03	0,13	0,00	-0,11	-0,15	-0,10	-0,16	0,07	0,12	0,02
THD Voltaje Línea 3	0,13	0,20	0,01	-0,04	-0,01	-0,06	-0,04	0,03	0,08	-0,01
Promedio potencia activa	0,24	-0,02	0,23	0,32	0,16	-0,04	0,14	0,33	0,43	0,27
THD Corriente Línea 1	0,11	0,21	0,03	0,07	0,08	-0,03	0,10	0,16	0,14	0,07
THD Corriente Línea 2	0,02	0,24	-0,02	-0,03	0,05	-0,05	0,07	0,06	0,09	0,01
THD Corriente Línea 3	-0,02	0,17	-0,03	0,05	0,02	-0,05	0,02	0,01	0,06	0,04

Fuente Autor

Tras el análisis de coeficientes de correlación de Pearson en el grupo de variables Cargas de Materia Prima de los Eventos de Producción – EP, en la Línea de Análisis enérgico EA1, para 16 variables productivas en 3 categorías como independientes y 15 Variables Energéticas dependientes en el análisis de la tercera escala jerárquica de la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, se evidencio que no existe ningún coeficiente de correlación alto, por lo que no es posible establecer una correlación productiva significativa entre las variables productivas evaluadas y las variables energéticas relacionadas que permitan inferir una influencia productiva en la dinámica energética de la organización.

El análisis evidencia por otra parte que existe una mediana correlación entre *Tamaño de Carga (kg)* y *Polipropileno (kg)* como variables productivas y *Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases* como variables energéticas sugiriendo una relación existente entre los kilogramos por carga de materia prima y el tipo de polímero utilizado y la energía eléctrica consumida no convertida en trabajo util.

Sucesos de Producción –SP

Para el análisis de los Sucesos de Producción -SP, en la Línea Energética EA1, se utilizó la duración de los eventos en minutos como variable independiente en el análisis de coeficientes de correlación de Pearson, utilizando los sucesos de mayor ocurrencia y cantidad (min) en el escenario EC1 (ver Anexo C. Frecuencia Eventos de Producción – EP), descritos a continuación.

Tabla 33. Variables Grupo Sucesos de Producción – EA1

Suceso de Producción	Descripción	Ocurrencia	Registros (min)
Tiempo de Alistamiento - Setup	Tiempo transcurrido entre el encendido de la máquina de moldeo por inyección, y la inyección del primer producto conforme	15	140
Operación Normal – ON	Operación efectiva e ininterrumpida de Componentes Energéticos del sistema	239	6498
Operación Normal Condicionada – ONC	Operación interrumpida y condicionada de Componentes Energéticos del sistema	5	126
Parada No Programada 1	Presencia de elementos extraños (Vidrio, metal, rocas) en la boquilla de inyección o en la vela en el molde de inyección	33	205
Parada No Programada 3	En operación activa cesa la alimentación de mezcla de inyección en la máquina de moldeo por inyección	7	25

Fuente Autor

Tabla 34. Coeficientes de Correlación Grupo Sucesos de Producción– Línea EA1

Duración (min)	Tiempo de Alistamiento - Setup	Operación Normal – ON	Operación Normal Condicionada – ONC	Parada No Programada 1	Parada No Programada 3
Voltaje del sistema 3 fases RMS	0,0112	-0,2373	0,8076	0,3002	-0,1332
Corriente del sistema 3 fases RMS	0,4963	0,1463	0,4077	-0,5599	-0,6086
Factor de potencia sistema 3 fases	-0,2070	0,0403	0,7113	0,2430	-0,0018
Potencia Aparente sistema 3 fases	0,4902	0,1167	0,4499	-0,5669	-0,6568
Potencia Activa sistema 3 fases	0,5640	0,1383	0,5029	-0,4876	-0,4847
Potencia Reactiva sistema 3 fases	-0,2156	0,0111	-0,3594	-0,6540	-0,7666
Energía Activa sistema 3 fases	0,9077	0,9578	0,9997	0,7572	0,8445
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	-0,1971	0,9680	0,9998	0,6571	0,9447
THD Voltaje Línea 1	0,2497	0,0499	-0,2366	0,0343	0,1404
THD Voltaje Línea 2	0,0901	0,0730	-0,2713	0,0962	0,7441
THD Voltaje Línea 3	0,5989	0,0481	-0,2559	0,0516	0,3455
Promedio potencia activa	0,3513	0,3024	-0,0471	-0,2336	0,1590
THD Corriente Línea 1	0,3495	0,0311	-0,2811	0,1216	0,1772
THD Corriente Línea 2	-0,5082	-0,0014	-0,3137	0,2079	0,1076
THD Corriente Línea 3	0,0249	-0,0336	-0,1148	0,5128	0,9348

Fuente Autor

Tras el análisis de coeficientes de correlación de Pearson en el grupo de variables Sucesos de Producción - SP de los Eventos de Producción – EP, en la Línea de Análisis enérgico EA1, para 5 variables productivas como independientes y 15 Variables Energéticas dependientes en el análisis de la tercera escala jerárquica de la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, se evidencio que existe un coeficiente de correlación Alto, entre las variables productivas *Tiempo de Alistamiento – Setup, Operación Normal – ON y Operación Normal Condicionada – ONC* y la variable energética *Energía Activa sistema 3 fases,* la cual describe el consumo en kWh de los Componentes Energéticos de Inyección, evidenciando que el tiempo de ocurrencia de los tres sucesos de producción tienen relación con el consumo energético del sistema, estableciendo una relación productiva significativa entre las variables productivas y las variables energéticas relacionadas en la dinámica energética de la organización.

De igual forma las variables productivas, *Operación Normal – ON, Operación Normal Condicionada – ONC y Parada No Programada 3*, tienen un coeficiente de correlación Alto con la variable *Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases,* como evidencia de que la mayor parte de la energía reactiva del sistema se presenta cuando la máquina de moldeo por inyección se encuentra activa. La inferencia energética sugiere la existencia de indicador de eficiencia energética mayor en el Suceso de Producción *Tiempo de Alistamiento – Setup,* ya que la energía

consumida y no convertida en trabajo efectivo en el sistema no tiene un coeficiente de correlación Alto con la variable productiva *Tiempo de funcionamiento Alistamiento – Setup*.

La Parada No Programada 3, de igual forma evidencia un alto coeficiente de correlación tanto con la variable energética *Energía Activa sistema 3 fases* como con la variable *Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases,* evidenciando la afectación energética por la falta de alimentación de materia prima en la máquina de moldeo por inyección, en directa relación a la metodología precaria utilizada para suministrar el polímero en la tolva de inyección tiene una afectación en el consumo de energía eléctrica del sistema productivo.

En relación a la Parada No Programada 1, los coeficientes de correlación en menor medida evidencian un coeficiente de correlación en el intervalo de mediana correlación para las variables energéticas *Energía Activa sistema 3 fases y Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases*, sugiriendo la incidencia energética ocasionada por el procedimiento llevado a cabo para corregir la afectación por la parada, uno de los más perjudiciales debido a la detención absoluta de la máquina de moldeo por inyección, la retracción del tornillo de inyección y manipulación del aboquilla del tornillo.

Ajustes de Maquinaria

La evaluación de Ajustes de maquinaria tomo 6 de los 12 ajustes identificados de mayor ocurrencia en el Escenario Energético de Producción – EEP EA1 representando la fluctuación de 3 conjuntos de variables, 1. 6 Temperatura de sección del barril y 1 de temperatura del Aceite, 2.El tiempo de Enfriamiento como el componente de mayor contribución al tiempo de ciclo y 3. El Ajuste Plastificación1 – Posición en referencia a la posición final de la primera etapa de plastificación, describiendo 9 Variables de Maquinaria seleccionadas de acuerdo a su comportamiento cuantitativo discrecional, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 35. Coeficientes de Correlación Grupo Ajustes de Maquinaria – Línea EA1

Coeficientes de correlación Pearson	Temperatura (°C)	Tiempo Enfriamiento (s)	Plastificación Posición (mm)
Voltaje del sistema 3 fases RMS	-0,24	0,84	0,12
Corriente del sistema 3 fases RMS	0,37	-0,24	0,09
Factor de potencia sistema 3 fases	0,43	-0,20	0,03
Potencia Aparente sistema 3 fases	0,37	-0,11	0,11
Potencia Activa sistema 3 fases	0,33	-0,16	0,09
Potencia Reactiva sistema 3 fases	0,36	0,22	0,25
Energía Activa sistema 3 fases	0,05	-0,38	-0,24
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	0,04	-0,34	-0,29
THD Voltaje Línea 1	-0,22	0,11	-0,25
THD Voltaje Línea 2	-0,25	0,13	-0,26
THD Voltaje Línea 3	0,06	0,14	-0,22
Promedio potencia activa	0,06	-0,58	0,22
THD Corriente Línea 1	0,06	0,16	0,09
THD Corriente Línea 2	-0,31	-0,06	0,21
THD Corriente Línea 3	-0,21	-0,12	-0,01

Fuente Autor

Tras el análisis de coeficientes de correlación de Pearson en el grupo de variables Ajustes de Maquinaria de los Eventos de Producción – EP, en la Línea de Análisis enérgico EA1, para 9 variables productivas como independientes y 15 Variables Energéticas como dependientes en el análisis de la tercera escala jerárquica de la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, se evidencio que no existe correlación Alta entre variables, por lo que no es posible establecer una correlación productiva significativa entre las variables productivas evaluadas y las variables energéticas relacionadas que permitan inferir una influencia productiva en la dinámica energética de la organización. Por otra parte la variable Productiva *Tiempo de Enfriamiento* y *Voltaje del sistema 3 fases RMS* tienen una mediana correlación,

sugiriendo una relación entre la Fase de Enfriamiento en el Ciclo de Inyección como la de mayor duración y las variaciones de voltaje dentro del sistema.

Línea de Análisis Energético EC1

La Línea de Análisis Energético Ec1 es descrita por la Operación activa individual de la inyectora CJ 180 M3V Y LA Operación activa Inyectora EM 180-V e Inyectora CJ 180 M3V, los resultados del análisis de las variables productivas independientes y las variables energéticas dependientes bajo la metodología de coeficientes de correlación de Pearson o prueba de correlación estadística muestral de Pearson en cada grupo de variables se muestra a continuación.

Cargas de Materia Prima

El análisis de Cargas de materia prima en la Línea de Análisis Energético EC1, partió del principio asincrónico que caracteriza los cargamentos de materia prima para realizar la caracterización y calcular el coeficiente de correlación (Ver Figura 21. Dinámica Compuestos de Inyección), describiendo 28 cargas en el Componente 1 y 49 en el Componente 2 registradas. El análisis se realizó teniendo como referencia las características de cargamentos de materia prima del Componente 1, basado en la regularidad de las cargas y en la menor frecuencia de las mismas las cuales permiten agrupar varias cargas realizadas en el segundo Componente Energético. Los coeficientes de correlación de Pearson de las variables de Procesamiento del Grupo Cargas de Materia Prima, se relacionan en la Tabla 35. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 1 – Línea EC1.

Tabla 36. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 1 – Línea EC1

Coeficientes de correlación Pearson	Procesamiento					
	Tamaño de Carga (kg)	Polímero (kg)	Procedencia			Pigmento (kg)
			Molido (%)	Reciclado (%)	Pellet (%)	
Voltaje del sistema 3 fases RMS	-0,595	-0,595	-0,141	-0,071	-0,393	-0,281
Corriente del sistema 3 fases RMS	0,630	0,630	0,237	0,028	0,322	0,261
Factor de potencia sistema 3 fases	0,623	0,623	0,368	-0,048	0,192	0,394
Potencia Aparente sistema 3 fases	0,612	0,612	0,253	0,013	0,296	0,249
Potencia Activa sistema 3 fases	0,635	0,635	0,235	0,032	0,323	0,264
Potencia Reactiva sistema 3 fases	0,514	0,514	0,299	-0,048	0,197	0,221
Energía Activa sistema 3 fases	0,588	0,588	0,008	0,168	0,445	0,294
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	0,604	0,604	0,091	0,104	0,440	0,327
THD Voltaje Línea 1	-0,376	-0,376	0,061	-0,229	-0,092	-0,262
THD Voltaje Línea 2	-0,254	-0,254	0,136	-0,268	0,029	-0,136
THD Voltaje Línea 3	-0,253	-0,253	0,105	-0,233	0,010	-0,115
Promedio potencia activa	0,555	0,555	0,142	0,106	0,220	0,275
THD Corriente Línea 1	-0,259	-0,259	0,243	-0,367	0,036	-0,163
THD Corriente Línea 2	-0,489	-0,489	0,207	-0,430	-0,059	-0,254
THD Corriente Línea 3	-0,573	-0,573	0,170	-0,422	-0,124	-0,115

Fuente Autor

Los coeficientes de correlación de Pearson de las variables de tipo Física, Operación y Procesamiento (Temperatura) son descritos a continuación.

Tabla 37. Coeficientes de Correlación Grupo Carga de Materia Prima 2 – Línea EC1

Coeficientes de correlación Pearson	Físicas		Operación	Procesamiento						
				Temperatura tornillo °C						
	Color Mezcla	Medio Pigmento	Tiempo de Preparación (min)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Aceite
Voltaje del sistema 3 fases RMS	0,028	0,009	-0,635	-0,855	-0,632	-0,577	-0,632	-0,711	-0,718	-0,717
Corriente del sistema 3 fases RMS	0,038	0,007	0,438	0,890	0,648	0,574	0,647	0,760	0,762	0,761
Factor de potencia sistema 3 fases	-0,095	0,088	0,322	0,900	0,789	0,725	0,795	0,714	0,716	0,717
Potencia Aparente sistema 3 fases	0,036	0,008	0,389	0,877	0,652	0,575	0,654	0,745	0,746	0,747
Potencia Activa sistema 3 fases	0,018	0,010	0,424	0,863	0,615	0,538	0,609	0,751	0,753	0,752
Potencia Reactiva sistema 3 fases	0,049	0,013	0,263	0,861	0,735	0,665	0,759	0,673	0,675	0,680
Energía Activa sistema 3 fases	-0,107	-0,034	0,419	0,516	0,367	0,350	0,378	0,365	0,380	0,378
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	-0,153	-0,025	0,370	0,544	0,455	0,441	0,471	0,363	0,378	0,376
THD Voltaje Línea 1	-0,098	-0,144	-0,223	-0,151	0,032	0,008	0,066	-0,158	-0,152	-0,152
THD Voltaje Línea 2	0,043	-0,053	-0,079	0,114	0,170	0,132	0,153	0,069	0,072	0,079
THD Voltaje Línea 3	-0,048	-0,058	-0,132	0,022	0,134	0,103	0,121	-0,050	-0,047	-0,040
Promedio potencia activa	0,147	0,103	0,325	0,832	0,569	0,493	0,598	0,753	0,757	0,765
THD Corriente Línea 1	0,134	-0,051	-0,112	0,222	0,244	0,209	0,241	0,134	0,132	0,143
THD Corriente Línea 2	0,147	-0,043	-0,261	-0,072	-0,020	-0,036	-0,034	-0,084	-0,084	-0,074
THD Corriente Línea 3	0,112	0,203	-0,357	-0,201	-0,160	-0,150	-0,151	-0,128	-0,118	-0,115

Fuente Autor

Tras el análisis de coeficientes de correlación de Pearson en el grupo de variables Cargas de Materia Prima de los Eventos de Producción – EP, en la Línea de Análisis enérgico EC1, para 16 variables productivas en 3 categorías como independientes y 15 Variables Energéticas dependientes en el análisis de la tercera escala jerárquica de la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, se evidencio que existe una serie de coeficientes de correlación Alto y Mediano entre las *Temperaturas del tornillo de Inyección T1-T6 y Aceite* y las primeras 8 variables energéticas relacionadas, como muestra de la influencia que tiene mantener la temperatura de plastificación del polímero utilizado en el Tornillo de Inyección durante la totalidad del Ciclo de Inyección en el desempeño energético del sistema, la mediana correlación afirma el argumento de que esta influencia hace parte de un grupo integral de procedimientos complementarios que le permiten a la máquina de moldeo por inyección funcionar. Como análisis particular se evidencia que la variable energética *Voltaje del sistema 3 fases RMS* presenta comportamiento negativo para el coeficiente Mediano de correlación identificado para las variables *Temperaturas del tornillo de Inyección T1-T6 y Aceite* y la variable *Tiempo de Preparación (min).* Describiendo un comportamiento opuesto de las variables. Para la evaluación de las demás variables productivas las variables energéticas relacionadas no es posible establecer una correlación productiva significativa que permitan inferir una influencia productiva en la dinámica energética de la organización.

Sucesos de Producción –SP

Para el análisis de los Sucesos de Producción -SP, en la Línea Energética EC1, se utilizó la duración de los eventos en minutos como variable independiente del análisis de coeficientes de correlación de Pearson, utilizando los sucesos de mayor ocurrencia y cantidad (min) en el escenario EC1 (ver Anexo C. Frecuencia Eventos de Producción – EP), descritos a continuación.

Tabla 38. Variables Grupo Sucesos de Producción – EC1

Suceso de Producción	Descripción	Ocurrencia		Registros (min)	
		Componente 1	Componente 2	Componente 1	Componente 2
Tiempo de Alistamiento - Setup	Tiempo transcurrido entre el encendido de la máquina de moldeo por inyección, y la inyección del primer producto conforme	7	17	89	206
Operación Normal – ON	Operación efectiva e ininterrumpida de Componentes Energéticos del sistema	145	-	1637	-
Operación Normal Condicionada – ONC	Operación interrumpida y condicionada de Componentes Energéticos del sistema	-	122	-	1471
Parada No Programada 4	Los eyectores no completan el recorrido para la eyección del producto terminado luego de la apertura del molde	-	14	-	49

Fuente Autor

Debido a las características asíncronas del escenario EC1 (Ver Figura 21. Dinámica Compuestos de Inyección), el análisis utiliza los estado actuales de los componentes activos del sistema y realiza el análisis de Pearson para aquellos existentes.

Tabla 39. Estado componentes energéticos en asincronía – EC1

Estado Componentes	Componente 1	Componente 2	Ocurrencia	Duración (min)
1	Alistamiento - Setup	Alistamiento - Setup	7	89
2	Alistamiento - Setup	Operación Normal Condicionada - ONC	-	-
3	Alistamiento - Setup	Parada No Programada 4	-	-
4	Operación Normal - ON	Alistamiento - Setup	9	117
5	Operación Normal - ON	Operación Normal Condicionada - ONC	122	1471
6	Operación Normal - ON	Parada No Programada 4	14	49
Total			152	1726

Fuente Autor

Tabla 40. Coeficientes de Correlación Grupo Sucesos de Producción– Línea EC1

Coeficientes de correlación Pearson	Estado Componentes			
	SETUP-SETUP	ON-SETUP	ON-PNP4	ON-ONC
Voltaje del sistema 3 fases RMS	0,484	-0,618	-0,445	-0,223
Corriente del sistema 3 fases RMS	-0,197	0,263	-0,158	0,111
Factor de potencia sistema 3 fases	0,599	0,331	-0,322	0,158
Potencia Aparente sistema 3 fases	-0,180	0,195	-0,167	0,085
Potencia Activa sistema 3 fases	-0,164	0,187	-0,175	0,104
Potencia Reactiva sistema 3 fases	0,100	0,222	-0,130	-0,026
Energía Activa sistema 3 fases	0,991	0,986	0,990	0,983
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	0,733	0,992	0,998	0,985
THD Voltaje Línea 1	0,275	0,194	-0,001	0,040
THD Voltaje Línea 2	0,041	0,189	0,496	0,128
THD Voltaje Línea 3	0,589	0,000	-0,109	0,110
Promedio potencia activa	0,190	0,145	0,107	0,255
THD Corriente Línea 1	-0,146	-0,199	0,444	0,030
THD Corriente Línea 2	-0,333	-0,174	0,530	0,012
THD Corriente Línea 3	0,375	-0,308	0,199	0,077

Fuente Autor

Tras el análisis de coeficientes de correlación de Pearson en el grupo de variables Sucesos de Producción - SP de los Eventos de Producción – EP, en la Línea de Análisis enérgico EC1, para la duración de 4 combinaciones de estados de maquinaria como variables productivas independientes y 15 Variables Energéticas dependientes en el análisis de la tercera escala jerárquica de la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, se evidencio que existe un coeficiente de correlación Alto, entre las 4 combinaciones de estados de maquinaria describiendo las variables productivas, *Tiempo de funcionamiento Alistamiento - Setup, Tiempo de funcionamiento Operación Normal – ON, Tiempo de funcionamiento Operación Normal Condicionada – ONC y Tiempo de funcionamiento Parada No Programada 4, y* la variable energética *Energía Activa sistema 3 fases,* la cual describe el consumo en kWh de los Componentes Energéticos de Inyección, evidenciando que el tiempo de ocurrencia de las cuatro combinaciones tienen relación con el consumo energético del sistema, estableciendo una relación productiva significativa entre las variables productivas y las variables energéticas relacionadas de la dinámica energética de la organización.

De igual forma las variables productivas, *Operación Normal – ON, Operación Normal Condicionada – ONC y Parada No Programada 3*, descritas en 3 combinaciones de Sucesos de Producción tienen un coeficiente de correlación Alto con la variable *Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases*, como evidencia de que la mayor parte de la energía reactiva del sistema se presenta cuando la máquina de moldeo por inyección se encuentra activa. La inferencia

energética sugiere la existencia de indicador de eficiencia energética mayor en el Suceso de Producción *Alistamiento – Setup*, ya que la energía consumida y no convertida en trabajo efectivo en el sistema no tiene un coeficiente de correlación Alto con la variable productiva *Tiempo de funcionamiento Alistamiento – Setup*.

Ajustes de Maquinaria

Para la evaluación de Ajustes de Maquinaria en el Escenario Energético de Producción – EEP EC1 describiendo la operación activa de dos componentes energéticos se tomaron los ajustes identificados de mayor ocurrencia 6 de 12 ajustes en el Componente Energético 1 y 4 de 12 en el Componente Energético 2 representando la fluctuación de 3 grupos, 1.Temperatura en todas las secciones del barril y aceite, 2.El tiempo de Enfriamiento como el componente de mayor contribución al tiempo de ciclo y 3. El Ajuste Plastificación1 – Posición en referencia a la posición final de la primera etapa de plastificación, describiendo 9 Variables de Maquinaria seleccionadas de acuerdo a su comportamiento cuantitativo discrecional, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 41. Coeficientes de Correlación Grupo Ajustes de Maquinaria – Línea EC1

Coeficientes de correlación Pearson	Componente Energético 1			Componente Energético 2	
	Temperatura (°C)	Tiempo Enfriamiento (s)	Plastificación Posición (mm)	Temperatura (°C)	Plastificación Posición (mm)
Voltaje del sistema 3 fases RMS	-0,39	0,33	-0,54	0,65	0,24
Corriente del sistema 3 fases RMS	0,43	0,05	0,21	-0,32	-0,04
Factor de potencia sistema 3 fases	0,19	-0,27	0,19	0,03	-0,16
Potencia Aparente sistema 3 fases	0,42	0,11	0,17	-0,27	-0,02
Potencia Activa sistema 3 fases	0,43	0,07	0,16	-0,23	-0,06
Potencia Reactiva sistema 3 fases	0,29	0,51	0,24	-0,29	0,20
Energía Activa sistema 3 fases	0,31	0,25	-0,38	-0,43	-0,30
Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	0,32	0,26	-0,38	-0,39	-0,27
THD Voltaje Línea 1	-0,27	-0,13	-0,37	-0,68	-0,30
THD Voltaje Línea 2	0,82	0,19	-0,51	-0,40	-0,60
THD Voltaje Línea 3	0,25	-0,59	-0,58	-0,31	-0,68
Promedio potencia activa	0,53	0,97	-0,44	-0,69	-0,12
THD Corriente Línea 1	0,47	0,31	0,86	-0,26	-0,33
THD Corriente Línea 2	0,47	0,33	0,24	-0,31	-0,45
THD Corriente Línea 3	0,05	0,18	-0,13	-0,26	-0,49

Fuente Autor

Tras el análisis de coeficientes de correlación de Pearson en el grupo de variables Ajustes de Maquinaria de los Eventos de Producción – EP, en la Línea de Análisis enérgico EC1, para 3 variables productivas como independientes en ambos Componentes energéticos descritos y 15 Variables Energéticas dependientes, en el análisis de la tercera escala jerárquica de la Metodología Integrada para el Análisis de la Información – MIAI, se evidencio que existe un

coeficiente de correlación Alto sobre el rango de análisis establecido, con 0,97 el *Tiempo Enfriamiento (s)* tiene una alta correlación con el *Promedio potencia activa* en el Componente Energético 1, evidenciando la influencia productiva del tiempo de enfriamiento como parte de la duración del Ciclo de Inyección en la potencia requerida para realizar el procedimiento de inyección, el valor positivo sugiere un comportamiento creciente sincronizado entre ambas variables. El resto de coeficientes se encuentran fuera de los rangos de aceptación establecidos, por lo que no es posible establecer una correlación productiva significativa entre las variables productivas y las variables energéticas relacionadas descritas por estos que permitan inferir una influencia productiva en la dinámica energética de la organización.

3.4.3.2. Análisis Correlacional

Completado el análisis correlacional de las dos Líneas de Análisis Energético establecidas, se evidenciaron coeficientes de correlación de Pearson entre 20 diferentes variables productivas en diferentes niveles de correlación y 10 variables energéticas, descritas a continuación.

Tabla 42. Variables correlacionadas Línea Energética EA1

Línea de Análisis Energético EA1					
Grupos	Variable Productivas	Unidad	Correlación Pearson	Variable Energéticas	Unidad
Cargas de Materia prima	Tamaño carga	kg	Mediana	Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	Voltamperio reactivo/hora - kVArh
	Polímero Carga Materia Prima	kg			
Sucesos de producción	Tiempo de funcionamiento – Alistamiento	min	Alta	Energía Activa sistema 3 fases	kilovatio/hora - kWh
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal	min			
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada	min			kilovatio/hora - kWh
	Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programada 3	min			
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal	min	Alta	Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	Voltamperio reactivo/hora - kVArh
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada	min			
	Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programada 3	min			
	Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programada 1	min	Mediana	Energía Activa sistema 3 fases	kilovatio/hora - kWh
				Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	Voltamperio reactivo/hora - kVArh
Ajustes de maquinaria	Tiempo de Enfriamiento	s	Mediana	Voltaje del sistema 3 fases RMS	Voltio

Fuente Autor

Tabla 43. Variables correlacionadas Línea Energética EC1

Línea de Análisis Energético EC1					
Grupos	Variable Productivas	Unidad	Correlación Pearson	Variable Energéticas	Unidad
Cargas de Materia prima	Tiempo de preparación Carga Materia Prima	°C	Mediana	Voltaje del sistema 3 fases RMS	Voltio
	Temperaturas del tornillo de Inyección T1-T6 y Aceite			Voltaje del sistema 3 fases RMS	Voltio
				Corriente del sistema 3 fases RMS	Amperio
				Factor de potencia sistema 3 fases	Adimensional
				Potencia Aparente sistema 3 fases	Voltamperio
				Potencia Activa sistema 3 fases	Vatio
				Potencia Reactiva sistema 3 fases	Voltamperio reactivo
				Energía Activa sistema 3 fases	kilovatio/hora - kWh
				Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	Voltamperio reactivo/hora - kVArh
Sucesos de producción	Tiempo de funcionamiento – Alistamiento	min	Alta	Energía Activa sistema 3 fases	kilovatio/hora - kWh
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal	min			
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada	min			
	Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programada 4	min			
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal	min	Alta	Energía Reactiva Inductiva sistema 3 fases	Voltamperio reactivo/hora - kVArh
	Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada	min			
	Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programadas	min			
Ajustes de maquinaria	Tiempo de Enfriamiento	s	Alta	Promedio potencia activa	Vatio

Fuente Autor

4. MODELO DE OPTIMIZACIÓN EN FUNCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

La construcción del modelo de programación lineal en función del consumo energético es la culminación de la implementación de las estrategias de recolección (Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP) y análisis energético (Metodología Integrada para el Análisis de la Información–MIAI) como aproximaciones de fácil aplicación en sistemas productivos energéticamente intensivos, teniendo como objetivo principal la identificación de las relaciones productivo-energéticas de mayores coeficientes de correlación de Pearson.

Basado en las metodologías implementadas, la construcción del modelo matemático permitirá manipular y asignar recursos a diferentes opciones en el sistema productivo incidiendo de manera directa en la dinámica energética del mismo. Influenciado por las necesidades y políticas organizacionales en el marco del análisis de caso, el objetivo principal del modelo matemático busca satisfacer las aspiraciones económicas de la organización, las cuales se centran en definir el punto de equilibrio económico del sistema productivo maximizando las utilidades organizacionales, basado en la utilización de las máquinas de moldeo por inyección como componentes energéticos, en la flexibilidad de uso y la dinámica de producción entre la máquina de moldeo por inyección y los moldes de inyección como herramientas intercambiables.

El programa lineal para la optimización del sistema en función de la dinámica energética de la organización toma en cuenta Los Escenarios Energéticos de Producción –EEP que describen las Líneas de Análisis Energético como el punto de partida para su formulación, en directa relación a la perspectiva económica sugerida por la dirección de la organización se seleccionó a la cantidad de Unidades de Venta de cada producto como las variables de decisión del modelo, la selección del horizonte de planeación se llevó a cabo mediante la revisión del sistema productivo y la dinámica de ventas de los productos así como los ciclos energéticos, sugiriendo una planeación mensual del programa de producción.

De forma genérica las restricciones del modelo tomaron las limitaciones de dos perspectivas productivas comunes, la disponibilidad de materia prima y el tiempo de manufactura disponible por periodo productivo, adicionalmente utilizando la metodología descrita por (Kalenatic, 2001), se construyó una tercera restricción del modelo que permite incluir la capacidad energética como parámetro de optimización del sistema, la restricción de Disponibilidad Energética construida a partir de la metodología de *Cálculo de capacidades productivas utilizando diferentes tecnologías en otras unidades de medida,* permite establecer los límites de consumo energético disponible para el cumplimiento de las metas económicas del sistema,

basado en la cantidad de tiempo disponible en las máquinas de modelo por inyección como Componentes Energéticos.

La selección de variables para la construcción del modelo de programación lineal permitió direccionar los esfuerzos de la formulación matemática, el número de variables escogidas tras la Revisión Bibliográfica, Observación del Sistema productivo y cálculo de coeficientes de correlación, se relacionan a continuación, para la revisión completa de variables ver Anexo E. Selección Variables Factores de Producción.

Tabla 44. Revisión Variables

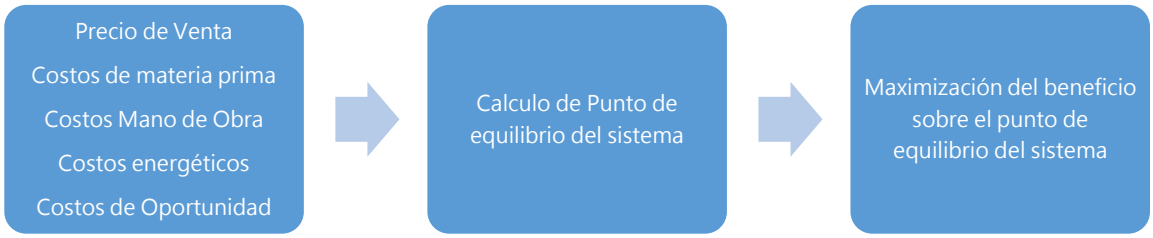
Etapas	Revisión Bibliográfica	Observación del Sistema	Correlación Pearson
Variables Productivas	69	62	45

Fuente Autor

4.1. DESCRIPCIÓN OPERACIONAL

El programa de producción descrito en el modelo permite evidenciar los resultados de las actividades de asignación realizadas para la optimización del sistema, a continuación se describen los resultados esperados con la construcción del modelo para las asignaciones realizadas, mostrando las variables que se utilizan, la asignación realizada y el resultado obtenido.

Figura 31. Diagrama de Bloques Función Objetivo



Fuente Autor

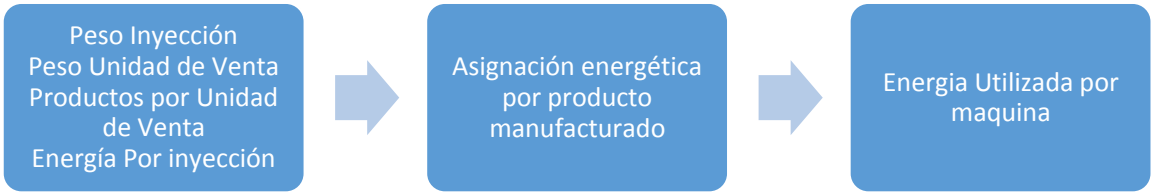
Figura 32. Diagrama de Bloques Restricción Demanda

Fuente Autor

Figura 33. Diagrama de Bloques Restricción Capacidad en unidades de tiempo

Fuente Autor

Figura 34. Diagrama de Bloques Restricción Capacidad Unidades energéticas



Fuente Autor

4.2. DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA

El modelo de optimización formulado busca maximizar las utilidades del sistema productivo, incluye 3 restricciones, (Materia Prima, Capacidad en unidades de tiempo y capacidad en unidades energéticas), retroalimentando la metodología de (Kalenatic, 2001), con el análisis correlacional, la descripción de las variables incluidas en el modelo de programación lineal formulado se relacionan a continuación

Tabla 45. Variables Modelo de programación lineal

Tabla Variables		
Descripción	Nomenclatura	Unidad
Función Objetivo		$
Precio de Venta producto "j" en maquina "i"	PV	$
Costo de Producción por unidad producto "j" en maquina "i"	CP	$
Unidades de venta a manufacturar por producto (variable de decisión)	X	und
Demanda		unidades/periodo
Demanda Mínima Unidades de Venta producto "j"	Dmin	und
Demanda Máxima Unidades de Venta producto "j"	Dmax	und
No conformes producto "j" en maquina "i"	NC	%
Unidades de venta a manufacturar por producto "j" en maquina "i" (variable de decisión)	X	und
Capacidad		h/periodo
Tiempo Objetivo de Ciclo de Inyección por producto "j" en maquina "i"	TC	s/Inyección
Tiempo de funcionamiento – Alistamiento Unidades de Venta por producto "j" en maquina "i"	TSETUP	%
Peso neto Unidad de Venta	PUV	kg/UV
Peso productos en Inyección	PPI	kg/Inyección
Ejecución estándar del tiempo de ciclo por producto "j" en maquina "i" (Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada)	Est	%
Días hábiles mes en maquina "i"	DH	días
Número de horas por turno en maquina "i"	HT	h
Turnos de trabajo en maquina "i"	NT	und
Mantenimiento preventivo y correctivo en maquina "i" (Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programada)	G1	h
No asistencia incapacidad injustificada en maquina "i"	G2	h
Factores externos en maquina "i"	G3	h
Factores externos naturales técnicos económicos en maquina "i"	G4	h
Unidades de venta a manufacturar	X	und

Tabla 43. Variables Modelo de programación lineal (Continuación)

Tabla Variables		
Materia Prima		kg/periodo
Peso total inyección	PI	Kg/inyección
Peso neto Unidad de Venta	PUV	kg/UV
Peso productos en Inyección	PPI	kg/und
Materia prima disponible Polipropileno	MPP	kg
Materia prima disponible Polietileno Alta densidad	MPEAD	Kg
Materia prima disponible Polietileno baja densidad	MPEBD	Kg
Materia prima disponible Polietileno Tereftalato	MPET	Kg
Proporción Polipropileno en Unidad de venta del producto i	PrPP	%
Proporción Polietileno Alta densidad (PEAD-HDPE)	PrPEAD	%
Proporción Polietileno Baja densidad (PEBD-LDPE)	PrPEBD	%
Proporción Polietileno Tereftalato (PET)	PrPET	%
Unidades de venta a manufacturar	X	und
Disponibilidad Energética		kWh/periodo
Energía por inyección por producto "j" en maquina "i"	EI	kWh
Peso Unidad de Venta	PUV	kg/UV
Peso productos en Inyección	PPI	kg/Inyección
No conformes producto "j" en maquina "i"	NC	%
Días hábiles mes	DH	días
Número de horas por turno	HT	h
Turnos de trabajo	NT	und
Mantenimiento preventivo y correctivo (Paradas No Programadas)	G1	h
No asistencia incapacidad injustificada	G2	h
Factores externos	G3	h
Factores externos naturales técnicos económicos	G4	h
Promedio potencia activa	PAVG	kW
Unidades de venta a manufacturar	X	und

Fuente Autor

4.2.1. Modelo

4.2.2. Función Objetivo

Ecuación 3. Función Objetivo

$$Maximizar \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\left(PV_{ij} \times x_{ij}\right) - \left(CP_{ij} \times x_{ij}\right)\right) \ (\$)$$

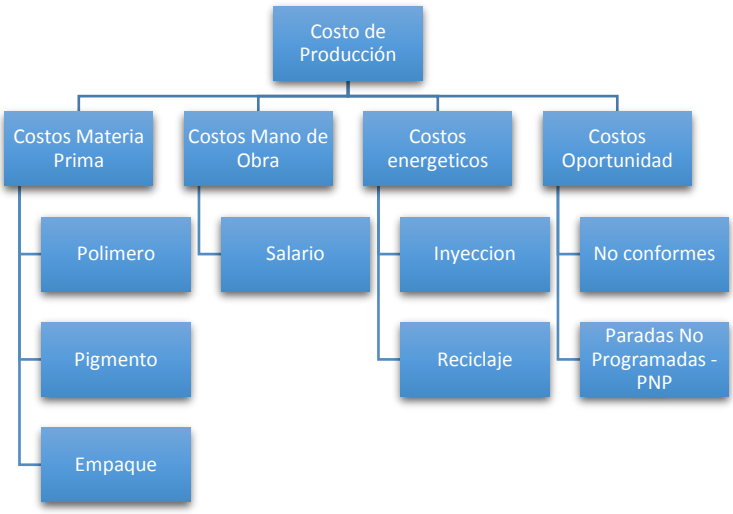
La Función Objetivo del programa lineal, relaciona el Precio de Venta (PV) de cada Unidad de Venta X de cada producto manufacturado j y Costo de Producción (CP) de cada Unidad de Venta X de cada producto manufacturado j, en cada Máquina de Moldeo por Inyección i.

Ecuación 4. Costo de Producción

$$CP_{ij} = Materia\ Prima + Mano\ de\ obra + Costo\ Energetico + Costo\ oportunidad$$

El costo de producción tiene 4 componentes, la materia prima y mano de obra directa como componentes convencionales, debido a un sistema productivo energéticamente intensivo el Costo Energético como parámetro individual tiene mayor protagonismo, los costos de oportunidad contemplan el costo que no se percibe por las Unidades de Venta no conformes producidas y el equivalente en Unidades de Venta posibles manufacturadas en el tiempo de mantenimientos correctivos, identificados como Paradas No Programadas-PNP.

Figura 35. Costos de Producción



Fuente Autor

4.2.3. Restricciones

4.2.3.1. Demanda

La restricción de demanda contempla límites inferiores (Dminxj) y superiores (Dmaxxj) en Unidades de venta para el nivel de demanda y un porcentaje de Unidades de Venta no Conformes (NC) con tolerancia para cada producto j manufacturado, para cada máquina i.

Ecuación 5. Restricción Demanda unidades de venta

$$Dminx_j \leq \sum_{i=1}^{n} x_{ij} \times \left(1 + NC_{ij}\right) \leq Dmaxx_j \quad \forall\, j = 1,2,3,\dots,n \ \ (unidades/UV)$$

4.2.3.2. Capacidad

La metodología de cálculo de capacidades contrasta la capacidad necesaria y la capacidad disponible en horas/mes para cada máquina disponible "i" (Kalenatic, 2001). En el cálculo de la capacidad necesaria se incluyen las variables productivas evaluadas tras el análisis de coeficientes de correlación de Pearson, la variable *Norma Técnica de Trabajo* en la formulación original Ecuación 5. Capacidad Necesaria formulación original, se construye a partir de las variables *Tiempo Objetivo de Ciclo de Inyección por producto j en maquina i*, incluyendo la variable *Tiempo de enfriamiento*, las variables *Peso por Unidad de Venta (PUV)*, y *Peso Producto por Inyección (PPI)*, se añade la variable *Tiempo de funcionamiento – Alistamiento*, en relación al tiempo de preparación de la máquina, como requisito para completar el producto del tipo "j" en el puesto de trabajo "i".

Ecuación 6. Capacidad Necesaria formulación Original

$$CN_{ij} = \left(QP_{ij} + nr_{ij} \pm Est_{ij}\right)$$

Fuente (Kalenatic, 2001)

Tabla 46. Comparación restricción Capacidad Disponible

Descripción	Modelo (Kalenatic, 2001)	Modelo Actual	Variable análisis correlacional incluida
Cantidad planeada de productos tipo "j" elaborados en el puesto de trabajo tipo "i"	QP_{ij}	x_{ij}	Variable Decisión
Norma Técnica de trabajo para el producto tipo "j" en la el puesto de trabajo tipo "i"	nr_{ij}	$\frac{TC_{ij}}{3600} \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}}$	*Tiempo Objetivo de Ciclo de Inyección Tiempo de enfriamiento Tiempo de funcionamiento- Operación Normal*
Ejecución Estándar norma de tiempo operación del producto tipo "j" procesado en el puesto de trabajo "i"	Est_{ij}	Est_{ij}	*Tiempo de funcionamiento- Operación Normal Condicionada*
Tiempo de funcionamiento – Alistamiento	$TSETUP_i$		*Tiempo de funcionamiento – Alistamiento*

Fuente Autor

La variable relacionada como *Ejecución Estándar de la norma de tiempo*, se construye a partir de las variables del análisis de correlación, *Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada,* como el tiempo de ejecución sobre el tiempo normal evidenciado en el Suceso de producción Operación Normal Condicionada, para cada producto manufacturado j en cada máquina i.

El cálculo complementario de la restricción de Capacidad en unidades de tiempo evalúa para cada máquina la Capacidad Disponible en h/mes utilizando la formulación en (Kalenatic, 2001), la formulación final de la restricción de Capacidad Disponible se muestra a continuación:

Ecuación 7. Restricción Capacidad en unidades de tiempo

$$\sum_{j=1}^{m}\left(x_{ij}\times\frac{TC_{ij}}{3600}\times\frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}}\times(1+\ Est_{ij})\times(1+TSETUP)\right)\leq((DH_i\times HT_i\times NT_i)-(G1_i+G2_i+G3_i+G4_i))$$

$$\forall\ i=1,2,3,\dots,n\ \ (h/maquina)$$

4.2.3.3. Materia Prima

La restricción de materia prima contempla la cantidad máxima adquirible por el sistema productivo de los diferentes polímeros utilizados en el sistema, la proporción utilizada de cada polímero en cada Unidad de venta de cada producto j, en relación al sistema de abastecimiento y la dinámica del mercado de polímeros de polímeros reciclados, la restricción de materia prima incluye los 4 polímero identificados en el sistema descritos en la variable del análisis correlacional *Polímero Carga Materia Prima*.

Ecuación 8. Restricción Materia Prima Polipropileno-PP

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\times\ PI_j\times\frac{PUV_j}{PPI_j}\times PrPP_j\ \leq\ MPP$$

Ecuación 9. Restricción Materia Prima Polietileno de Alta Densidad-PEAD

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\times\ PI_j\times\frac{PUV_j}{PPI_j}\times PrPEAD_j\ \leq\ MPEAD$$

Ecuación 10. Restricción Materia Prima Polietileno de Baja Densidad - PEBD

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\times\ PI_j\times\frac{PUV_j}{PPI_j}\times PrPEBD_j\ \leq\ MPEBD$$

Ecuación 11. Restricción Materia Prima Polietileno Tereftalato-PET

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \times\ PI_j \times \frac{PUV_j}{PPI_j} \times PrPET_j\ \leq\ MPET$$

4.2.3.4. Energía

La restricción energética del sistema se construye a partir de la metodología *Cálculo de capacidades productivas utilizando diferentes tecnologías en otras unidades de medida* por (Kalenatic, 2001), en referencia a la *capacidad en unidades energéticas,* a diferencia del análisis relacionado allí y teniendo en consideración el requerimiento energético variable para llevar a cabo los ciclos de inyección (ver Figura 17. Potencia Eléctrica Ciclo de Inyección), la potencia máxima instalada nominal o potencia de placa de la máquina de moldeo por inyección referenciada allí no es un parámetro preciso para el cálculo de la capacidad energética disponible, por lo que se utiliza la variable energética *Promedio potencia activa,* como referencia en el cálculo de la Capacidad Disponible en unidades energéticas. En conjunto con el precepto de que a un ritmo de consumo determinado (promedio de consumo potencia necesaria para realizar el trabajo) es posible utilizar tanta energía como tiempo disponible para usarla existe, la restricción energética en el sistema productivo contempla el contraste con la energía necesaria por maquina en kWh/periodo, para la sumatoria de la energía de manufactura de cada producto j para cada máquina i, se utiliza la Energía por Inyección (EI) de cada producto j en cada máquina i, para determinar la cantidad de energía necesaria, la energía disponible utiliza parte de la metodología de cálculo de Capacidad en h/mes, añadiendo el equivalente en energía eléctrica para cada máquina i, según la teoría propuesta de la energía real consumida a diferencia de la energía máxima requerida.

Ecuación 12. Restricción Capacidad Unidades energéticas

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \times EI_{ij} \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times \left(1 +\ NC_{ij}\right) \times (1 + TSETUP) \leq \left((DH_i \times HT_i \times NT_i) - (G1_i + G2_i + G3_i + G4_i)\right) \times PAVG$$

$$\forall\ i = 1,2,3, \dots, n\ \ (kWh/maquina)$$

4.3. ANÁLISIS DE COSTOS

La metodología utilizada para la obtención de los costos de producción del sistema productivo fue la de costeo directo o estándar contemplado los costos de producción por unidad de venta, a continuación se describen los cálculos realizados para su obtención, al igual que la metodología llevada a cabo en la investigación, el factor de producción energía tiene mayor relevancia.

Ecuación 13. Costo de Producción

$$CP_i = (CPol_i + CPig_i + CEm_i) + (MO_i + MOEi) + (CEI_i + CENC_i + CER_i + CEPNP_i) + (CONC_i + COPNP_i)$$

CPol: Costo Polímero
CPig: Costo de Pigmento
CEm: Costo Empaque
MO: Mano de obra (Salario)
MOE: Mano de Obra extra
CEI: Costo Energía Inyección
CENC: Costo Energía No conformes
CER: Costo Energía Reciclar
CEPNP: Costo Energía Paradas No Programadas
CONC: Costo Oportunidad No conformes
COPNP: Costo oportunidad Paradas No Programadas
CP= Costos de Producción por Unidad de Venta producto j ($/UV) en maquina "i"
Xj= Unidades de venta del Producto j a manufacturar (Unidad de Venta)
CE= Costo por kilovatio-Hora Energía Eléctrica ($/kWh)

4.3.1. Materia Prima

Ecuación 14. Costo Polímero por Unidad de Venta

$$CPol_i = Costo\ Polimeros\ UV = \left(\left(PI_i \times \left(\frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times (1 + NC_i)\right)\right)\right) \times CPkg_j\ (\$/UV)$$

CPkgj: Costo de adquisición por kilogramo de Polímero necesario para producir producto j (proporción de adquisición previa) ($/Kg)

*El valor de la materia prima necesaria para la inyección de una (1) unidad de venta incluyendo NC y peso respectivo de inyección

Ecuación 15. Costo Pigmento por Unidad de Venta

$$CPig_i = Costo\ Pigmento\ UV^* = \left(\left\lceil \frac{\left(PI_i \times \left(\frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times (1 + NC_i) \right) \right) + EM_i}{KPA^*} \right\rceil \times\ CPikg_i \right) (\$/UV)$$

CPikgj: Costo de adquisición por kilogramo de Pigmento para producir el producto j (proporción de adquisición previa) ($/kg)

KPA: Kilogramos por paquete de pigmento

EMj: Emisiones por Mezcla de producto j

* Asumiendo costo de pigmento igual para cada color

4.3.2. Mano de Obra

Ecuación 16. Costo Mano de Obra por Unidad de Venta

$$MO_i = \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^{m} \left(\frac{TC_{ij}}{3600} \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times (1 + NC_{ij}) \right)}{HT} + \frac{\sum_{j=1}^{m} \frac{\left(PI_{ij} \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times\ NC_{ij} \right) + SOB_{ij}}{CM}}{HT} \right\rceil \times ST$$

$$\forall\ i = 1,2,3, \dots, n\ \ (\$/UV)$$

ST: Salario por Turno de Trabajo por operario ($/Turno)

HT: Horas por Turno de trabajo operario (h/Turno)

TCi: Tiempo de Ciclo objetivo de Inyección Necesario (en relación a la capacidad necesaria (s))

SOBi: Kilogramos Sobrantes Unidad de Venta Producto i (kg/unidad de venta)

(SOBRANTE/UNIDAD * IUV)

CM: Capacidad máxima en Kilogramos del Molino eléctrico pulverizador de plástico (kg/h)

*Mano de Obra Reciclando (incluido en formula “Mano de Obra Inyecciones”)

Ecuación 17. Costo Mano de Obra Reciclando

$$MOR = \left(\frac{\left(PI_i \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times\ NC_i \right) + SOB_i}{\frac{CM}{HT}} \right) \times ST\ (\$/UV)$$

$$MOEi = Mano\ de\ Obra\ horas\ extra = \lceil (MO_i) - \lfloor MO_i \rfloor \rceil \times ST\ (\$/UV)$$

4.3.3. Energía

- Costo Energía Inyecciones necesarias

EIij: Energía de Inyección necesaria en kWh para completar un ciclo de inyección del producto j (kWh/Inyección) en la Línea de Producción i

$$CEI_j = Costo\ Energia\ Inyeccion\ UV = \sum_{j=1}^{m}\left(\left(EI_{ij} \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}}\right) \times CE\right) \forall\ i = 1,2,3,\dots,n\ (\$/UV)$$

- Costo Energía Inyecciones No Conformes proyectadas

$$CENC_i = Costo\ Energia\ Inyecciones\ NC\ UV = \sum_{j=1}^{m}\left((EI_{ij} \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times NC_{ij}) \times CE\right) \forall\ i = 1,2,3,\dots,n\ (\$/UV)$$

- Costo Energía Reciclar

SOBi: Kilogramos Sobrantes Unidad de Venta Producto i (kg/unidad de venta) (SOBRANTE/UNIDAD * IUV)
PM: Potencia Máxima Necesaria Molino eléctrico pulverizador de plástico (kW)
CM: Capacidad máxima en Kilogramos del Molino eléctrico pulverizador de plástico (kg/h)

$$CER_i = Costo\ Energia\ Reciclar = \sum_{j=1}^{m}\left(\frac{\left(PI_{ij} \times \frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}} \times NC_{ij}\right) + SOB_{ij}}{CM} \times PM \times CE\right)\ (\$/UV)$$

- Costo Energía PNP

EPNPij: Energía consumida en las Paradas No Programadas durante la producción de una (1) Unidad de venta (kWh/UV) información obtenida del nuevo formato

$$CEPNP_i = Costo\ Energia\ PNP = \left(\sum_{j=1}^{14} EPNP_{ij} \times CE\right)\ (\$/UV)$$

4.3.4. Oportunidad

- Costo de oportunidad Productos No conformes

Dinero que deje de recibir en ese periodo por no poder vender los no conformes

$$CONC_i = Costo\ Oportunidad\ No\ Conformes\ UV = PV_i \times NC_i \quad (\$/UV)$$

- Costo de oportunidad PNP

Dinero no percibido por producción posible en tiempo desperdiciado en PNP

$$COPNP_i = Costo\ Oportunidad\ PNP\ UV = \frac{\frac{\sum_{j=1}^{14}(MOPNP_{ij}) \times 3600}{TC_i}}{\frac{PUV_{ij}}{PPI_{ij}}} \times (1 - NC_i) \times PV_i \quad (\$/UV)$$

MOPNPi: Mano de obra Paradas No Programadas

4.4. ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN

En el marco del análisis de caso que permitió construir la Metodología de Análisis del Sistema Productivo se implementó el modelo matemático formulado para su validación dentro de un escenario energético de producción intensivo, integrando las políticas de gestión energética y productiva para satisfacer las aspiraciones económicas de la organización. A continuación se describen las variables del sistema de producción y la aplicación del modelo matemático.

Tabla 47. Variables Análisis de Producción

Descripción	Nomenclatura	Unidad	X1	X2	X3	X4
Precio de Venta producto "j" en maquina "i"	PV	$	$ 70.000	$ 90.000	$ 65.000	$ 65.000
Costo de Producción por unidad producto "j" en maquina "i"	CP	$	$ 44.061,68	$ 25.471,27	$ 29.339	$ 34.081
Demanda Mínima Unidades de Venta producto "j"	Dmin	und	120	60	30	45
Demanda Máxima Unidades de Venta producto "j"	Dmax	und	150	80	40	60
No conformes producto "j" en maquina "i"	NC	%	4,66%	3,75%	3,00%	3,75%
Tiempo Objetivo de Ciclo de Inyección por producto "j" en maquina "i"	TC	s/Inyección	29,5	24	20,25	19
Tiempo de funcionamiento – Alistamiento Unidades de Venta por producto "j" en maquina "i"	TSETUP	%	5,50%	5,3	5,3	5,3
Peso neto Unidad de Venta	PUV	kg/UV	18.6	18	18	18
Peso productos en Inyección	PPI	kg/Inyección	155	240	144	80
Peso total inyección	PI	kg	160	274	176	94
Ejecución estándar del tiempo de ciclo por producto "j" en maquina "i" (Tiempo de funcionamiento – Operación Normal Condicionada)	Est	%	3,81%	4,92%	8,52%	5,68%
Proporción Polipropileno en Unidad de venta del producto i	PrPP	%	1	0	0	0
Proporción Polietileno Alta densidad (PEAD-HDPE)	PrPEAD	%	0	0,8	0,6	0,9
Proporción Polietileno Baja densidad (PEBD-LDPE)	PrPEBD	%	0	0,2	0,3	0
Proporción Polietileno Tereftalato (PET)	PrPET	%	0	0	0,1	0,1
Energía por inyección por producto "j" en maquina "i"	EI	kWh	0,104	0,08	0,09	0,07
Promedio potencia activa	PAVG	kW	10,5		11,5	
			Maquina 1		Maquina 2	
Días hábiles mes en maquina "i"	DH	días	24		24	
Número de horas por turno en maquina "i"	HT	h	8		12	
Turnos de trabajo en maquina "i"	NT	und	1		1	
Mantenimiento preventivo y correctivo en maquina "i" Tiempo de funcionamiento – Paradas no Programada	G1	h	7,55		2,74	
No asistencia incapacidad injustificada en maquina "i"	G2	h	8		0	
Factores externos en maquina "i"	G3	h	6		6	
Factores externos naturales técnicos económicos en maquina "i"	G4	h	0		0	
Materia prima disponible Polipropileno	MPP	kg	1500			
Materia prima disponible Polietileno Alta densidad	MPEAD	Kg	1200			
Materia prima disponible Polietileno baja densidad	MPEBD	Kg	1000			
Materia prima disponible Polietileno Tereftalato	MPET	Kg	1100			

Fuente Autor

Tras identificar las variables del sistema productivo se procedió a correr el modelo de programación lineal utilizando el aplicativo Solver como herramienta de análisis del software Excel 2013, incluida en el paquete de la suite Office 2013, el objetivo de la utilización de este software está enteramente relacionado con el núcleo central de desarrollo metodológico de la investigación la cual busca generar herramientas de análisis energético de sistemas productivos energéticamente intensivos de fácil aplicación, implementación y reproducibilidad, que con bajo nivel tecnológico se vean fortalecidas por la estructura metodológica generada fortaleciendo el argumento central de la investigación.

4.4.1. Resultados del Modelo de Programación matemática

Los resultados del modelo de optimización se muestran a continuación:

Tabla 48. Resultados Programa Lineal

Función Objetivo	**Valor**		
Maximizar	$ 12.334.593,9		
Variables Decisión	**Valor Final**		
Maquina 1 Producto X1	150		
Maquina 1 Producto X2	80		
Maquina 1 Producto X3	40		
Maquina 1 Producto X4	39		
Maquina 2 Producto X1	0		
Maquina 2 Producto X2	0		
Maquina 2 Producto X3	0		
Maquina 2 Producto X4	21		
Restricciones	**Valor**	**Estatus**	**Holgura**
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X1	150	Restringida	0
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X2	80	Restringida	0
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X3	40	Restringida	0
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X4	60	Restringida	0
Maquina 1 Capacidad (horas)	289,6	No restringida	73
Maquina 2 Capacidad (horas)	27,6	No restringida	252
Polipropileno-PP (kg)	2880	No restringida	7120
Polietileno de Alta Densidad-PEAD (kg)	2985,3	No restringida	3015
Polietileno de Baja Densidad - PEBD (kg)	592,8	No restringida	3407
Polietileno Tereftalato-PET (kg)	214,9	No restringida	885
Maquina 1 Energía consumida (kWh)	3805,7	Restringida	0
Maquina 2 Energía consumida (kWh)	370,1	No restringida	2842

Fuente Autor

La maximización de la función objetivo del programa lineal muestra una utilidad de $12,334,593.9 mensuales, los resultados del programa evidencian que la restricción de

Capacidad en Unidades energéticas implementada restringe en mayor medida la optimización del sistema productivo en referencia a que la disponibilidad energética debido a las condiciones de las actividades de producción. La optimización cumple con los niveles de demanda máximos para cada productivo asignando niveles de producción en su mayoría para la maquina 1.

Los resultados del análisis de sensibilidad se relacionan a continuación:

Tabla 49. Análisis de Sensibilidad

Variables Decisión	Valor Final	Costo reducido	Objetivo Coeficiente	Incremento permisible	Decremento permisible
Maquina 1 Producto X1	150,0	0	$ 25.938,32	1,00E+30	0,00
Maquina 1 Producto X2	80,0	0	$ 64.528,73	1,00E+30	0,00
Maquina 1 Producto X3	40,0	0	$ 35.660,39	1,00E+30	0,00
Maquina 1 Producto X4	39,1	0	$ 30.918,87	0,00	0,00
Maquina 2 Producto X1	0,0	0	$ 25.938,32	0,00	1,00E+30
Maquina 2 Producto X2	0,0	0	$ 64.528,73	0,00	1,00E+30
Maquina 2 Producto X3	0,0	0	$ 35.660,39	0,00	1,00E+30
Maquina 2 Producto X4	20,9	0	$ 30.918,87	0,00	0,00
Restricciones	Valor Final	Precio Sombra	Lado derecho	Incremento permisible	Decremento permisible
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X1	150,0	$ 25.938,32	150,0	50,31	26,85
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X1	150,0	$ -	120,0	30,00	1,00E+30
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X2	80,0	$ 64.528,73	80,0	104,62	20,00
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X2	80,0	$ -	60,0	20,00	1,00E+30
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X3	40,0	$ 35.660,39	40,0	53,95	10,00
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X3	40,0	$ -	30,0	10,00	1,00E+30
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X4	60,0	$ 30.918,87	60,0	158,38	15,00
TOTAL Unidades de Venta (unidades) Producto X4	60,0	$ -	45,0	15,00	1,00E+30
Maquina 1 Capacidad	289,6	$ -	362,5	1,00E+30	72,87
Maquina 2 Capacidad	27,6	$ -	279,3	1,00E+30	251,68
Polipropileno-PP (kg)	2880,0	$ -	10000,0	1,00E+30	7120,00
Polietileno de Alta Densidad-PEAD (kg)	2985,3	$ -	6000,0	1,00E+30	3014,70
Polietileno de Baja Densidad - PEBD (kg)	592,8	$ -	4000,0	1,00E+30	3407,20
Polietileno Tereftalato-PET (kg)	214,9	$ -	1100,0	1,00E+30	885,10
Maquina 1 Energía consumida (kWh)	3805,7	$ -	3805,7	370,06	693,54
Maquina 2 Energía consumida (kWh)	370,1	$ -	3211,6	1,00E+30	2841,51

Fuente Autor

Los resultados del análisis de sensibilidad permiten evidenciar las posibilidades económicas del sistema productivo, a pesar de que no se utiliza toda la Capacidad en unidades de tiempo se está utilizando toda la Capacidad en Unidades energéticas para satisfacer la demanda máxima de los 4 productos del sistema, por lo que el costo reducido es inexistente, el análisis de los precios sombra ante el incremento unitario de los valores de demanda evidencian que el beneficio por el incremento de los niveles de demanda son mayores que el costo de producción de cada producto, con amplios rangos de crecimiento y decrecimiento evidenciados tras el

análisis, sugiriendo que según las estimaciones del mercado el sistema tiene posibilidades de crecimiento. En relación a la materia prima se evidencia que existe un amplio margen para la utilización de los polímeros adquiribles.

El reporte de límites se describe a continuación:

Tabla 50. Reporte Límites

Función objetivo	$ 12.334.593,9				
Variables de Decisión	Valor	Límite Inferior	Resultado Función Objetivo	Limite Superior	Resultado Función Objetivo
Maquina 1 Producto X1	150	120	$ 11.556.444,38	150	$ 12.334.593,95
Maquina 1 Producto X2	80	60	$ 11.044.019,37	80	$ 12.334.593,95
Maquina 1 Producto X3	40	30	$ 11.977.990,10	40	$ 12.334.593,95
Maquina 1 Producto X4	39	24	$ 11.870.810,85	39	$ 12.334.593,95
Maquina 2 Producto X1	0	0	$ 12.334.593,95	0	$ 12.334.593,95
Maquina 2 Producto X2	0	0	$ 12.334.593,95	0	$ 12.334.593,95
Maquina 2 Producto X3	0	0	$ 12.334.593,95	0	$ 12.334.593,95
Maquina 2 Producto X4	21	6	$ 11.870.810,85	21	$ 12.334.593,95

Fuente Autor

El análisis del reporte de límites para las variables de decisión del sistema evidencia de nuevo que la restricción de demanda máxima de los productos del sistema, se muestra como la de mayor afectación en el sistema generada aparte de una estimación conservadora del productor, muestra la afectación por económica del sistema ante la ausencia de herramientas de análisis productivo que le permitan tomar decisiones económicas que beneficien a la organización.

4.4.2. Análisis de Resultados

Tras la formulación y aplicación del modelo de programación lineal en la organización analizada del caso de estudio como culminación de la segunda fase de la investigación, fue posible identificar que la inclusión de una restricción de capacidad en unidades energéticas complementando el análisis de capacidades basado en la metodología de (Kalenatic, 2001) permite realizar una análisis con mayor asertividad en relación a la dinámica energética del sistema, los resultados permiten evidenciar que al incluirla, el modelo se restringe de forma drástica en función de esta, como evidencia de su acercamiento a la realidad productiva de la organización, el análisis productivo-energético llevado a cabo con la metodóloga de coeficientes de correlación se mostró como un activo clave en la construcción del modelo ya que enfoca los esfuerzos de optimización en maximizar la utilización de la capacidad energética instalada.

En contraste con la metodología llevada a cabo por la organización para la formulación del plan de producción, los resultados del modelo de programación lineal contemplando las necesidades productivas, requerimientos energéticos y condiciones de producción, como base teórica para el planteamiento de un modelo cuantitativo a diferencia de uno cualitativo ofrecen

una visión holística y enriquecedora de las posibilidades económicas basada en el análisis teórico. La metodología existente para la formulación del plan de producción que giraba en torno a la Dinámica de ventas como método cualitativo de formulación (Heizer, y otros, 2009), sin restarle importancia a su metodología, se mostraba deficiente frente a las necesidades y la condición de industria energéticamente intensiva la cual hace necesario la formulación de un modelo cuantitativo que analice de forma específica la influencia productiva en el consumo energético

La figura a continuación muestra las diferencias metodológicas entre el plan de producción previo y el propuesto con el modelo de programación lineal.

Tabla 51. Comparativo Metodología Plan de Producción

Metodología	Modelo Matemático de Programación Lineal	Dinámica de Ventas
Plan de producción	Interacción económica Producción - Energía/Unidades producidas	Evaluación histórico de ventas
Dinámica de producción	Monitoreo y control metodología de análisis - MORP	Estimado por percepción
Consumo Energético	Monitoreo y control metodología de análisis - MIAI	Estimado por percepción
Punto de equilibrio	Teórico Calculado - Función Objetivo	Estimado por percepción
Eficiencia Energética	Maximización de utilización - Restricción Disponibilidad energética	Sin evaluación

Fuente Autor

5. CONCLUSIONES

En comparación con el estudio de Silva Larrotta y Porras Rey (Situación Energética general del sector de los plásticos en Bogotá, 2001) la profundización en el análisis de influencia energética de los Eventos de Producción –EP de un sistema energéticamente activo, consolida, amplia y desarrolla positivamente la noción de Administración Energética en Mipymes Energéticamente Intensivas, la construcción de una metodología que integra la recolección y análisis de información productiva y energética para la generación de un modelo matemático como medida de optimización teniendo como objetivo parámetros de eficiencia energética, se muestra como una herramienta altamente reproducible en la generación de políticas de gestión energética en sistema productivos basados en el eficiente uso de los recursos disponibles, sensibles a su manipulación y asignación; los resultados evidencian la fortaleza de la estructura metodológica sugiriendo su aplicación en industrias de mayor tamaño, donde tendrían un mayor impacto económico desde la perspectiva de la mejora de indicadores de eficiencia energética, la ausencia de datos en relación a la eficiencia energética en la organización, advierte sobre la importancia de establecer una Línea de Base Energética como parámetro de comparación energética y seguimiento al consumo energético en estas organizaciones (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación NTC-ISO 50001, 2011).

En relación a análisis similares como el de Nova Arévalo en (Caracterización del comportamiento del sector industrial de pymes que procesan formas básicas de plástico en Bogotá, en función del consumo de energía eléctrica, 2011), el enfoque en variables del ejercicio productivo y variables energéticas contrario a las de gestión organizacional referenciadas allí, enriquece la construcción de metodologías de modelamiento matemático desde una perspectiva más cercana a la dinámica de producción, evidenciando la flexibilidad de la formulación y modelamiento en sistemas productivos Mipyme. De forma específica, la versatilidad de la metodología diseñada llena el vacío metodológico operacional en las estrategias de análisis integral y generación de políticas de eficiencia energética, como una herramienta de fácil aplicación y reproducibilidad.

Las mediciones, caracterizaciones y aplicación de la metodología diseñada en una industria en funcionamiento permiten describir la relación de los sucesos de producción y el consumo energético directamente, en tiempo real, siendo la inflexibilidad de la implementación de análisis teóricos uno de los retos principales en la implementación de metodologías de evaluación de eficiencia energética a nivel organizacional (Li, 2015), debido a que en la búsqueda de mejoras en la eficiencia energética, la mayoría de análisis se centran en el desarrollo y mejoramiento de tecnologías para grandes organizaciones (Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures, 2014) y no en el cambio de

metodologías para pequeños productores, donde las actividades artesanales toman un mayor protagonismo y las prioridades administrativas son diametralmente opuestas a aquellas utilizadas en industrias de mayor tamaño, en estas, la correcta planeación, precisión metodológica, e implementación de estrategias de alto impacto y bajo costo reducen el riesgo de mortalidad organizacional mostrándose como el camino a seguir. La efectividad de estrategias de sencilla aplicación y gran impacto en el desarrollo de políticas enfocadas a la eficiencia energética, contribuyen a eliminar el paradigma de la aplicación de metodologías de optimización en pequeñas industrias frente al dilema de la rentabilidad.

Tras la implementación de la Metodología de Análisis del Sistema Productivo y la construcción del Modelo Matemático de Programación Lineal se evidenciaron las fortalezas y la contribución teórica al problema de asignación en la organización. La modelación desde la perspectiva energética de sistemas productivos energéticamente intensivos a diferencia de aquella meramente económica sin protagonismo energético, permite abarcar un espectro mayor del problema de optimización, direccionado por la dualidad caracterizada en la aproximación de la Metodología de Observación y Registro en Paralelo-MORP se evidencia la fuerte relación existente entre la dinámica de producción y el consumo energético, probando la importancia de considerar su existencia y sobre todo la influencia productiva en organizaciones Mipyme, donde la adopción de modelos prácticos que reflejen con precisión los objetivos organizacionales reales, al mismo tiempo que prueben ser rentables debido a las reducidas condiciones de inversión y se muestren de fácil aplicación es crucial para su desempeño productivo.

De forma específica la inclusión del consumo energético heterogéneo real según los requerimiento energéticos particulares del sistema evidencian la necesidad de especificar el consumo real de los dispositivos a diferencial del nominal o de placa medido, como medida de precisión en el modelo de optimización, permite tener una aproximación objetiva cercana a la realidad, que en contraste a la deficiencias en monitoreo y control existentes en la organización permiten tener una visión acertada del problema de producción.

6. RECOMENDACIONES

El análisis y metodología implementados se ahondo en los detalles que permitieran incluir el mayor rango de variables en la mayor cantidad de situaciones de la dinámica de producción, como recomendación general de la investigación realizada se sugiere la implementación de la metodología diseñada en un Sistema Energéticamente intensivo de mayor, como medida de validación del diseño metodológico y ampliación del espectro de análisis productivo.

De igual forma la profundización en el análisis metodológico como medida de acompañamiento de posteriores observaciones podría recurrir a la interpretación con un grado de sensibilidad mayor de la perspectiva energética, de forma específica un análisis de micro-variaciones energéticas ocasionadas por la dinámica productiva, que debido a su extensión, complejidad y respuesta específica ofrecen un campo de análisis de mayor amplitud y especificación que fuera del marco investigativo actual y refiriéndose de igual forma a toda la dinámica productiva, ofrecería una visión alentadora y complementaria del análisis integral de sistemas energéticamente intensivos.

Debido a la naturaleza reciclada de la materia prima utilizada por el sistema productivo, la evaluación de causa raíz en referencia a la influencia de la materia prima en el sistema productivo resulta muy compleja para el alcance de este trabajo investigativo, como recomendación general en relación a la materia prima se sugiere el planteamiento de un análisis especifico y de mayor profundidad metodológica acerca de la influencia energética de las materias primas recicladas en los sistema productivos, ya que como es relacionado en el capítulo de la Descripción Productiva del sistema los Efectos del procesamiento de termoplásticos influyen de manera directa en la dinámica de producción del sistema.

En relación al análisis energético particular de forma general es recomendable adquirir vastos conocimientos en relación a la Administración energética de sistemas productivos esto permitirá tener una aproximación más precisa al problema energético del sistema. De forma complementaria para la realización del análisis energético es recomendable la diferenciación energética en la caracterización de los Componentes energéticos identificados, con el ánimo e no incurrir en perturbaciones energéticas por mediciones genéricas, ya que las imprecisiones en la identificación de consumos energéticos particulares para el análisis de varios componentes resulta una de las mayores dificultades en la generación de relaciones productivas-energéticas bajo la metodología diseñada ya que la diferenciación del consumo por maquina permite evidenciar el comportamiento energético particular.

7. BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials - ASTM. 2013. *Astm D7611 Standard Practice For Coding Plastic Manufactured Articles For Resin Identification.* s.l. : American Society for Testing and Materials - ASTM, 2013.

Arsham, Hossein. 1994-2014. Optimización: Programación Lineal (PL). *Modelos Deterministas: Optimización Lineal.* [En línea] 1994-2014. http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640s/spanishd.htm#rop.

Blanco Álvarez, Francisco. 2013. TEMA 11: MOLDEO POR INYECCIÓN (Lección). [En línea] 2013. [Citado el: 23 de Septiembre de 2015.] http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf.

Brydson, J. A. 1999. *Plastic Materials.* 7ta Edicion. s.l. : Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN: 978-0-7506-4132-6.

C. Bolur, Prabodh. A Guide to Injection Moulding of Plastics. *PITFALLS IN INJECTION MOULDING OF PLASTICS.* [En línea] [Citado el: 21 de Septiembre de 2015.] http://www.pitfallsinmolding.com/index.html.

Cámara de Comercio de Bogotá - Banco Interamericano de Desarrollo. 2009. *Convenio ATN/ME-11056 BID Promoción de Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética - Guía Metodológica para el uso eficiente de la energía en el sector Plásticos.* Bogotá D.C. : Cámara de Comercio de Bogotá, 2009.

Capehart, Barney L. , Turner, Wayne C. y Kennedy, William J. . 2012. *Guide to Energy Management.* Lilburn, GA : The Fairmont Press, Inc., 2012. ISBN: 978-1-4398-8348-8.

Caracterización del comportamiento del sector industrial de pymes que procesan formas básicas de plástico en Bogotá, en función del consumo de energía eléctrica. **Nova Arévalo, Néstor Armando. 2011.** Bogotá D.C. : Universidad Cooperativa de Colombia, Comité Nacional para el Desarrollo de la Investigación-CONADI, 2011. 7a. Jornada de Ciencia, Tecnología y Sociedad.

Chanda, Manas y Roy, Salil K. 2009. *Plastics fundamentals, Properties and Testing.* Boca Raton-London-New York : CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2009. pág. 278. ISBN: 978-1-4200-8060-5.

Chanda, Manas y Roy, Salil K. 2007. *Plastics Technology Handbook.* 4th Edition. Boca Raton-London-New York : CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2007. pág. 816. ISBN: 978-0-8493-7039-7.

CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO.LTD. 2010. *Installation and maintenance manual EM180-V Ai-01.* Daliang, Shunde, Foshan, Guangdong, China : CHEN DE PLASTICS MACHINERY CO.LTD, 2010.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. 2009. *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas - CIIU Rev. 4 A.C. Revisión 4 adaptada para Colombia.* Bogotá D.C : Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2009.

—. 2015. *Encuesta Anual Manufacturera - EAM.* Bogotá D.C : Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2015.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE. 2015. *Encuesta de Microestablecimientos - MICRO.* Bogotá D.C. : Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2015.

DOE, PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY Operado por BATTELLE para el Departamento de Energia de los Estados Unidos UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. 2014. *A Comprehensive System of Energy Intensity Indicators for the U.S.: Methods, Data and Key Trends.* Richland, Washington : National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce. USA, 2014.

Energy Vortex. 2016. www.energyvortex.com. *www.energyvortex.com.* [En línea] Energy Vortex, 2016. [Citado el: 31 de Agosto de 2016.] https://www.energyvortex.com/energydictionary/transmission_line__transmission_system__distribution_line.html.

Goodship, Vanessa. 2007. *Introduction to Plastics Recycling.* Second Edition. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK : Smithers Rapra Technology Limited subsidiary of The Smithers Group, 2007. ISBN: 978-1-84735-078-7.

Harper, Charles A. 2002. *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites.* 4ta Edicion. New York : McGraw-Hill Professional, 2002. ISBN: 978-0071384766.

—. 2000. *Modern Plastics Handbook.* New York : McGraw-Hill, 2000. ISBN: 0-07-026714-6.

Heizer, Jay y Render, Barry. 2009. *Principios de administración de operaciones.* [ed.] Pablo Miguel Guerrero Rosas. 7a Ed. México, D.F : PEARSON EDUCACIÓN, 2009.

Hill, Arthur V. 2012. *The Encyclopedia of Operations Management.* Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Educations, Inc., 2012. 978-0-13-288370-2.

Hillier, Frederick S. y Lieberman, Gerald J. 2010. Introducción a la Investigación de Operaciones. [aut. libro] Frederick S. Hillier y Gerald J. Lieberman. *Introduction to Operations Research.* 9. México, D.F. : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2010, pág. 978.

Implantación de las políticas de Eficiencia Energética. **Silva Larrotta, Jorge Rene y Porras Rey, Gregorio Orlando. 1999.** Santafé de Bogotá D.C. : Ediciones Uniandes, 1999, Vol. 10.

Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures. **Müller, Egon, y otros. 2014.** [ed.] Hoda ElMaraghy. s.l. : Elsevier B.V., 2014. Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Sytems. Vol. 17, págs. 704-709. ISSN: 2212-8271.

—. **Müller, Egon, y otros. 2014.** [ed.] Hoda ElMaraghy. s.l. : Elsevier B.V., 2014. Variety Management in Manufacturing. Proceedings 47th CIRP Conf. Manufacturing Sytems. Vol. 17, págs. 704-709. ISSN: 2212-8271.

Industrial energy efficiency: Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry. **Eichhammer , Wolfgang y Mannsbart , Wilhelm. 1997.** Energy Policy 7-9, Great Britain : Elsevier Science Ltd., 1997, Vol. Volume 25, págs. 759–772.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación NTC-ISO 50001. 2011. *Sistemas de Gestión de la Energía. Requisitos con orientación para su uso NTC-ISO 50001.* Bogotá D.C. : ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2011. pág. 25.

International comparisons of energy efficiency-methodologies for the manufacturing industry. **Phylipsen, GJM, Block, Kornelis y Worrell, Ernest. 1997.** Energy Policy 7-9, Great Britain : Elsevier Science Ltd., 1997, Vol. Volume 25, págs. 715-725.

Kalenatic, Dusko. 2001. *Modelo Integral y Dinámico para el Análisis, Planeación, Programación y Control de las Capacidades Productivas en Empresas Manufactureras.* Bogotá D.C : Universidad distrital Francisco José de Caldas - Instituto de Estudios e Investigaciones Educativas POLICROMÍA DIGITAL, 2001. ISBN: 958-916092-1.

Kantorovich, Leonid. 1960. *Mathematical methods in the organization and planning of Production.* s.l. : Management Science, 1960. págs. 550-559. Vol. 6. Version original 1939.

Ke, Yao. 2008. *Energy-Efficient Control in Injection Molding - Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering.* Hong Kong : Hong Kong University of Science and Technology, 2008. pág. 227.

Kutz, Myer, [ed.]. 2011. *Applied Plastics Engineering Handbook - Processing and Materials.* 1st Edition. Waltham, MA USA : ELSEVIER, 2011. pág. 644. ISBN: 978-1-4377-3514-7.

Li, Dr. Wen. 2015. *Efficiency of Manufacturing Processes - Energy and Ecological Perspectives.* [ed.] Christoph Herrmann y Sami Kara. s.l. : Springer International Publishing Switzerland, 2015. pág. 189. ISBN: 978-3-319-17365-8.

May, Gökan , y otros. 2013. Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains APMS - Energy Related Key Performance Indicators – State of the Art, Gaps and Industrial Needs. [ed.] Vittal Prabhu, Marco Taisch y Dimitris Kiritsis. *IFIP Advances in Information and Communication Technology.* State College, PA, USA : Springer International Publishing AG, 2013, Vol. 414, págs. 257–267.

Parmenter, David. 2010. *Key Performance Indicators - Developing, Implementing and using winning KPIs.* Hoboken, New Jersey. : John Wiley & Sons, Inc., 2010. ISBN: 978-0-470-54515-7.

Potsch, Gerd y Michaeli , Walter . 1995. *Injection Molding.* Munich, Germany : Hanser Publishers, 1995. ISBN: 978-3446171961.

República de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Colombia. 2004. *Guía Ambiental Sector Plásticos - Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo.* Bogotá D.C, Colombia : Xpress Estudio Gráfico, 2004. ISBN: 958-97393-4-2.

República de Colombia - Ministerio de Medio Ambiente. 2002. *Guía de buenas prácticas en uso racional de la energía para el sector de las pequeñas y medianas empresas.* Medellín-

Colombia : Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales Ministerio del Medio Ambiente, 2002. ISBN 97200-6-3.

República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME. 2010. *Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales - PROURE.* Bogotá D.C : Ministerio de Minas y Energía - MME, 2010.

—. 2013. *Resolución 9-0708 (30, Agosto, 2013) Por la cual se expide el Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas (RETIE).* Bogotá D.C. : El Ministerio, 2013.

República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía MME Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. 2003. *Estrategia Energética Integral, Visión 2003 - 2020.* Colombia : Unidad de Planeación Minero Energética, 2003.

—. 1997. *Plan energético nacional 1997-2010 : Autosuficiencia energética sostenible.* Bogotá D.C. : Unidad de Planeación Minero Energética, 1997.

Rexroth Bosch Group - The Rexroth Applications Centers. http://www.boschrexroth-us.com/. *Hydraulic System Solutions for Plastics Processing Machinery - Brochure RA09402.* [En línea] [Citado el: 18 de Agosto de 2015.] https://www.boschrexroth.com/en/us/industries/machinery-applications-and-engineering/plastic-machinery-and-die-casting/documentation-and-resources/application-brochures-7.

Rosato, Donald V., Rosato, Marlene G. y Rosato, Dominick V. 2000. *Injection Molding Handbook.* [ed.] Donald V. Rosato, Marlene G. Rosato y Dominick V. Rosato. 3a Edicion. Norwell, Massachusetts-USA : Kluwer Academic Publishers, 2000. ISBN: 0-7923-8619-1.

Rubin, Irvin I, [escrit.]. 1998. *Plastic Injection Molding.* SME Society of Manufacturing Engineers, 1998. Product ID DV03PUB22.

Situación Energética general del sector de los plásticos en Bogotá. **Silva Larrotta, Jorge Rene y Porras Rey, Gregorio Orlando. 2001.** [ed.] Ediciones Uniandes. Fascículo 8, Bogotá D.C. : s.n., 2001, Revista de Ingeniería, Vol. Volumen 13, págs. p.58-65. ISSN: 0121-4993.

Stitz, Siegfried y Keller, Walter. 2004. *Spritzgießtechnik: Verarbeitung - Maschine - Peripherie (Injection mould technology. Manufacture – machine – periphery).* 2 Auflage (Edition). München : Hanser, 2004. págs. 270 - 426. ISBN: 978-3-446-22921-1.

Thumann, Albert y Mehta, D. Paul . 2008. *Handbook of Energy Engineering.* Lilburn, GA : The Fairmont Press, Inc, 2008. ISBN: 978-1-4200-8768-0.

Vanderbei, Robert J. 2014. *Linear Programming - Foundations and Extensions.* [ed.] Frederick S. Hillier. 4 Ed. New York : Springer Science+Business Media, 2014. Vol. 196 International Series in Operations Research & Management Science . ISBN: 978-1-4614-7629-0.

What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. **Patterson, Murray G. 1996.** Energy Policy 5, Great Britain : Elsevier Science Ltd, 1996, Vol. Volume 24, págs. 377-390.

8. ANEXOS

Anexo A. Formato de Observación y Registro Sistema Productivo

Formato de Observación Sistema Productivo									Versión 0.6	jul-14	pagina 1 de 2		Código: FMPA
INFORMACIÓN GENERAL DIARIA											PRODUCCIÓN		
Fecha	H ON maquina	H inicio Actividad	Ciclo inicio	Inyectora		Producto	Analista		Operario	H Fin Actv	Cargas	Ciclos	no conformes
CARGAS EJECUTADAS			ANÁLISIS MUESTRAL TEMPERATURA - CICLOS DE INYECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD										
CARGA	Hora carga	Kg o % cargado	Muestra	Ciclo	no conforme	T1	T2	T3	T4	T5	T6	ACEITE	observaciones
													referencia
AJUSTES DE MAQUINARIA													
IDENTIFICACIÓN CARGA			ANÁLISIS MUESTRAL TEMPERATURA										
CARGA	Hora Ajuste	Ciclo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	ACEITE	observaciones			
										referencia			
PARADAS NO PROGRAMADAS													
IDENTIFICACIÓN CARGA			ANÁLISIS MUESTRAL TEMPERATURA										
ID Parada	Parada en Carga	Hora inicio	Hora Fin	ciclo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Aceite	observaciones	
Elaboró					Revisó						Aprobación		
Andres Felipe Prieto Amado					Andres Felipe Prieto Amado						Andres Felipe Prieto Amado		

Anexo A. Formato de Observación y Registro Sistema Productivo (Continuación)

Formato de Observación Sistema Productivo									Versión 0.6	jul-14	pagina 2 de 2	Código: FMPA
INFORMACIÓN GENERAL												
Fecha		Operario		Producto		Tiempo de ciclo			Enfriando	Plast 1	Aceite	
CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA PREPARADA												
Carga	Hora inicio	Materia prima %								Pigmento		Hora fin	Comentarios
		Polipropileno PP	Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	Polietileno de Baja Densidad (PEBD)	Polietileno Tereftalato PET	Procedencia			Cant Preparada	vaso	Color		
						Molido	Reciclado	otro					
COMENTARIOS													
Elaboró				Revisó					Aprobación				
Andres Felipe Prieto Amado				Andres Felipe Prieto Amado					Andres Felipe Prieto Amado				

Anexo B. Registros Energéticos Dispositivo ABB ANR96-230

SW01 Archive file											
Records:	3001										
Description:											
Creation date:	24/09/2014 12:09:12										
Rate:	1 min.										
		001	001	001	001	001	001	001	001	001	001
Date	Time	3-Phase System Voltage [V]	Phase Voltage Line 1 [V]	Phase Voltage Line 2 [V]	Phase Voltage Line 3 [V]	Voltage L1 - L2 [V]	Voltage L2 - L3 [V]	Voltage L3 - L1 [V]	3-Phase System Current [A]	Line 1 Current [A]	Line 2 Current [A]
24/09/2014	12:25:00	203	117	116	119	202	203	205	062	064	058
24/09/2014	12:26:00	203	117	115	119	201	203	204	066	079	060
24/09/2014	12:27:00	204	118	116	119	202	204	205	063	069	059
24/09/2014	12:28:00	206	120	117	121	205	205	208	043	051	036
24/09/2014	12:29:00	206	119	116	121	204	205	208	045	055	037
24/09/2014	12:30:00	206	119	118	120	205	207	207	049	056	040
24/09/2014	12:31:00	206	119	118	121	205	206	207	043	050	037
24/09/2014	12:32:00	202	116	116	118	201	202	203	074	079	070
24/09/2014	12:33:00	203	117	115	120	201	203	205	073	081	073
24/09/2014	12:34:00	204	114	119	121	201	207	203	058	061	054
24/09/2014	12:35:00	204	114	119	121	201	207	203	055	063	050
24/09/2014	12:36:00	207	116	121	123	205	211	207	024	033	019
24/09/2014	12:37:00	209	118	121	123	206	212	209	024	034	019
24/09/2014	12:38:00	209	118	121	124	207	212	209	024	034	019
24/09/2014	12:39:00	209	118	121	123	207	212	209	024	034	019
24/09/2014	12:40:00	207	117	120	122	205	209	207	039	047	034
24/09/2014	12:41:00	205	116	118	121	203	207	205	055	063	050
24/09/2014	12:42:00	207	117	119	122	204	208	207	055	063	050
24/09/2014	12:43:01	207	118	119	122	205	208	207	054	062	049
24/09/2014	12:44:00	208	118	119	123	206	210	209	040	051	031
24/09/2014	12:45:00	208	117	121	123	206	211	208	037	048	029
24/09/2014	12:46:01	210	119	121	124	208	212	210	024	034	019
24/09/2014	12:47:00	212	119	123	125	209	215	211	024	034	020
24/09/2014	12:48:00	210	121	120	123	209	211	211	039	049	035
24/09/2014	12:49:00	210	121	120	123	209	211	211	042	054	037
24/09/2014	12:50:00	208	120	118	123	206	209	210	054	064	048
24/09/2014	12:51:00	211	121	121	124	209	212	212	040	050	035
24/09/2014	12:52:00	211	121	121	124	209	212	212	038	050	031
24/09/2014	12:53:00	211	122	120	124	209	211	212	039	052	031
24/09/2014	12:54:00	208	121	119	121	208	208	209	058	068	048
24/09/2014	12:55:00	208	122	118	120	208	206	210	054	058	049
24/09/2014	12:56:00	208	122	118	121	208	206	210	050	057	049
24/09/2014	12:57:00	207	122	117	120	207	205	210	061	066	058
24/09/2014	12:58:00	209	123	119	121	209	208	211	045	051	040
24/09/2014	12:59:00	209	121	119	122	208	209	210	051	062	041
24/09/2014	13:00:00	211	123	121	123	211	211	213	029	036	023
24/09/2014	13:01:00	208	119	119	122	206	209	209	057	063	050
24/09/2014	13:02:00	210	121	119	122	208	210	211	051	061	047
24/09/2014	13:03:00	208	120	118	121	206	208	209	068	078	065
24/09/2014	13:04:00	197	115	112	115	196	197	199	081	086	073
24/09/2014	13:05:00	208	122	117	122	206	206	211	063	070	061
24/09/2014	13:06:00	207	121	116	121	205	205	210	066	079	055
24/09/2014	13:07:00	208	122	117	121	207	207	211	061	071	054
24/09/2014	13:08:00	205	119	117	120	205	205	207	077	086	071

Anexo C. Frecuencia Eventos de Producción – EP

Sucesos de Producción	Escenarios Energéticos de Producción – EEP										Total Sucesos de Producción	
	EA1	EA2	EB1	EB2	EC1	EC1	EC2	EC2	ED1	ED2	Inyectora 1	Inyectora 2
SETUP	15		1		7	17					22	18
ON	239	16	6		146		14				415	6
ONC	5					130		13			5	143
PNP1	33	1			7						41	0
PNP2	3										3	0
PNP3	7				1	1					8	1
PNP4						14		1			0	15
PNP5	1					1					1	1
PNP6	3										3	0
PNP7	1										1	0
PNP8					1	1					1	1
PNP9	1				2						3	0
PNP10	1										1	0
PNP11	2										2	0
PNP12	2										2	0
PNP13	1										1	0
PNP14	1										1	0
TOTAL	315	17	7	0	164	164	14	14	0	0	510	185
Cargas de Materia Prima	Escenarios Energéticos de Producción – EEP										Total Cargas de Materia Prima	
	EA1	EA2	EB1	EB2	EC1	EC1	EC2	EC2	ED1	ED2	Inyectora 1	Inyectora 2
DA	18		1		6	3					24	4
A	20		1		4	6					24	7
B	19		1		5	5					24	6
C	18	1	1		3	4	2	1			24	6
D	17	1	1		5	5					23	6
E	13	1			4	4					18	4
F	5				1	4		1			6	5
G	1					5					1	5
H	1					4					1	4
I		1				2					1	2
J		1				2					1	2
K						2					0	2
L						2					0	2
M						1					0	1
TOTAL	112	5	5	0	28	49	2	2	0	0	147	56
Ajustes de Maquinaria	Escenarios Energéticos de Producción – EEP										Total Ajustes de Maquinaria	
	EA1	EA2	EB1	EB2	EC1	EC1	EC2	EC2	ED1	ED2	Inyectora 1	Inyectora 2
1	39	2	1		6	5	2				49	6
2	17				2	1					19	1
3	6	1			6		2				15	0
4	1	1									2	0
5	14				3	8					17	8
6	6				2	5					8	5
7						4					0	4
8 9	1										1	0
10						1					0	1
11						1					0	1
12	1										1	0
1 2	4				2						6	0
1 3	8										8	0
1 4	2										2	0
3 5	2										2	0
TOTAL	101	4	1	0	21	25	4	0	0	0	130	26

Anexo D. Registro Integrado Producción-Energía (Aparte)

Sesión de observación y registro – SOR	Escenario energético de producción - EEP				Evento de producción – EP			Perspectiva energética				
					Componente Energético 1			Variables energéticas				
Fecha	Inicio	Fin	Duración	Id	Materia prima	Ajustes de maquinaria	Sucesos de producción -SP	Voltaje del sistema 3 fases RMS	Corriente del sistema 3 fases RMS	Factor de potencia sistema 3 fases	Potencia Aparente sistema 3 fases	Potencia Activa sistema 3 fases
31/07/2014	6:49	6:59	0:11	EC1	DA		ON	210,1	77,8	0,8	28275,5	23896,4
31/07/2014	7:00	7:02	0:03	EC1			ON	212,0	64,9	0,8	23810,0	18443,3
31/07/2014	7:03	7:05	0:03	EC1			ON	208,3	81,5	0,9	29396,7	25170,0
31/07/2014	7:06	7:06	0:01	EC1			ON	204,7	110,5	0,8	39170,0	32780,0
31/07/2014	7:07	7:07	0:01	EC1			ON	207,0	87,8	0,8	31470,0	26320,0
31/07/2014	7:08	7:09	0:02	EC1			ON	206,5	79,8	0,9	28580,0	24355,0
31/07/2014	7:10	7:13	0:04	EC1			ON	207,6	62,9	0,8	22582,5	18032,5
31/07/2014	7:14	7:14	0:01	EC1			ON	202,5	101,4	0,9	35540,0	32360,0
31/07/2014	7:15	7:16	0:02	EC1			ON	204,1	89,8	0,9	31675,0	27990,0
31/07/2014	7:17	7:17	0:01	EC1			ON	205,8	76,4	0,8	27220,0	23080,0
31/07/2014	7:18	7:19	0:02	EC1			ON	203,9	99,7	0,9	35225,0	31850,0
31/07/2014	7:20	7:20	0:01	EC1			ON	204,5	90,7	0,9	32130,0	28160,0
31/07/2014	7:21	7:24	0:04	EC1			ON	207,8	67,7	0,8	24380,0	19740,0
31/07/2014	7:25	7:26	0:02	EC1	A		ON	208,8	52,4	0,8	18960,0	14420,0
31/07/2014	7:27	7:48	0:22	EC1			ON	204,9	75,1	0,8	26651,8	22312,3
31/07/2014	7:49	8:12	0:24	EC1			ON	191,5	73,2	0,8	25616,3	21440,5
31/07/2014	8:13	8:13	0:01	EC1			ON	200,2	73,4	0,9	25470,0	21670,0
31/07/2014	8:14	8:14	0:01	EC1			ON	196,2	106,2	0,9	36070,0	32970,0
31/07/2014	8:15	8:19	0:05	EC1	B		ON	199,6	83,0	0,9	28640,0	24910,0
31/07/2014	8:20	8:35	0:16	EC1			ON	199,0	78,2	0,8	26930,0	22399,1
31/07/2014	8:36	8:36	0:01	EC1			ON	199,3	72,8	0,9	25160,0	21430,0
31/07/2014	8:37	8:49	0:13	EC1			ON	198,4	80,0	0,9	27314,6	23631,5
31/07/2014	8:50	8:55	0:06	EC1			ON	200,8	71,0	0,8	24255,0	20233,3
31/07/2014	8:56	8:59	0:04	EC1	C		ON	200,8	70,9	0,8	24645,0	19290,0
31/07/2014	9:00	9:03	0:04	EC2			ON	197,8	95,9	0,8	32635,0	27870,0
31/07/2014	9:04	9:04	0:01	EC2			ON	198,6	74,0	0,8	25440,0	19310,0
31/07/2014	9:05	9:19	0:15	EC2			ON	196,7	95,3	0,9	32329,3	27860,0
31/07/2014	9:20	10:03	0:44	EC1			ON	200,5	87,2	0,8	30216,4	25823,4
31/07/2014	10:04	10:07	0:04	EC1		3	ON	201,4	93,3	0,9	32537,5	28987,5
31/07/2014	10:08	10:10	0:03	EC1		3	ON	202,6	84,3	0,9	29536,7	25720,0
31/07/2014	10:11	10:11	0:01	EC1		3	ON	206,5	74,2	0,9	26510,0	22540,0

Anexo E. Selección Variables Factores de Producción

Variables Factores de Produccion							Unidad	Numero de Variables	Seleccion			
	Variable		Valor/Descripción						Revision Bibliografica	Observacion del Sistema	Correlacion Pearson	Modelo Programacion Lineal
Materia Prima Polimeros	Procesamiento	Tamaño carga					Kg	1	Si	Si	Si	No
		Polímero en Carga Materia Prima	PP	PEAD	PEBD	PET	kg	4	Si	Si	Si	Si
		Temperatura de fusión y Aceite					°C	7	Si	Si	Si	No
		Procedencia	Reciclado - Reciclado In situ - Pellet				kg	3	Si	Si	Si	No
	Mecánicas (Chanda, y otros, 2009)		Visco elasticidad (fluidez)				gr/10 min	1	Si	No	No	No
			Resistencia a la Flexión				psi	1	Si	No	No	No
			Dureza				Rockwell	1	Si	No	No	No
	Térmicas		Coeficiente de expansión Térmica Lineal				-10^{-6}m/(m/°C)	1	Si	No	No	No
	Físicas	Densidad	Densidad Media				gr/cm3	1	Si	No	No	No
		Color	Amarillo - Naranja - Rojo - Azul - Verde - Blanco - Negro				nominal	1	Si	Si	Si	No
Materia Pirma Pigmentos	Físicas	Medio de transporte	Dry Color				nominal	1	Si	Si	Si	No
			Masterbatch o									
		Color (Chanda, y otros, 2007)	Amarillo – Cromo Claro				nominal	1	Si	Si	Si	No
			Naranja- Molibdato de									No
			Rojo- Óxido de hierro									No
			Verde – Verde Cromado									No
			Negro – Negro Carbono									No
	Procesamiento	Pigmento Carga Materia Prima	Kilogramos añadidos en carga de materia prima				kg	1	Si	Si	Si	No
Maquinaria - Maquinas de Moldeo Por Inyeccion	Operación	Tiempo de preparación Carga Materia Prima					min	1	Si	Si	Si	No
		Tiempo de funcionamiento – Alistamiento Unidades					min	1	Si	Si	Si	Si
		Ejecución estándar del tiempo de ciclo por producto					min	1	Si	Si	Si	Si
	Ajustes de maquinaria	Tiempo de ciclo					s	1	Si	Si	No	Si
		Tiempo de enfriamiento (Ajuste Temporizador)					s	1	Si	Si	Si	Si
		Tiempo de plastificación					s	1	Si	Si	No	No
		Tiempo de inyección					s	1	Si	Si	No	No
		Ajuste Plastificación1 - Posición					mm	1	Si	Si	Si	No
		Capacidad de Inyección					cm^3	1	Si	Si	No	No
		Apertura de Molde					mm	1	Si	Si	No	No
		Apertura Eyectores					mm	1	Si	Si	No	No
		Temperatura barril etapa 1					°C	1	Si	Si	Si	No
		Temperatura barril etapa 2					°C	1	Si	Si	Si	No
		Temperatura barril etapa 3					°C	1	Si	Si	Si	No
		Temperatura barril etapa 4					°C	1	Si	Si	Si	No
		Temperatura barril etapa 5					°C	1	Si	Si	Si	No
		Temperatura barril etapa 6					°C	1	Si	Si	Si	No
		Temperatura de Aceite					°C	1	Si	Si	Si	No
Maquinaria Moldes de Inyeccion	Peso de Inyección por molde						Kg	1	Si	Si	No	Si
	Peso Producto por inyección						Kg	1	Si	Si	No	Si
	Peso Unidad de Venta						Kg	1	Si	Si	No	Si
	Peso Molde						Kg	1	Si	No	No	No
Mano de Obra	DH	Días hábiles mes que labora el puesto de trabajo "i"					días	1	Si	Si	No	Si
	HT	Número de horas por turno que labora el puesto de					Horas	1	Si	Si	No	Si
	NT	Numero de turnos de trabajo que labora el puesto					unidad	1	Si	Si	No	Si
	G1	Perdidas estándares totales por mantenimiento					Horas	1	Si	Si	No	Si
	G2	Perdidas estándar totales por la no asistencia de					Horas	1	Si	Si	No	Si
	G3	Perdidas estándares totales por factores externos					Horas	1	Si	Si	No	Si
	G4	Perdida externas totales por factores naturales,					Horas	1	Si	Si	No	Si
	CO	Capacitación operario					Horas	1	Si	No	No	No