



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

TEMA:

**Evaluación de los procedimientos de eficiencia energética en los procesos de  
producción de una planta de alimentos**

AUTOR:

Ing. Ordóñez Toro Roberth Andrés

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de  
**MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍAS  
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TUTOR:

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando MSc.

Guayaquil, Ecuador

09 de agosto del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Roberth Andrés Ordóñez Toro. Como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.**


TUTOR

Ing. Armando Heras Sánchez, MSc.

f.  \_\_\_\_\_

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.

f.  \_\_\_\_\_

Guayaquil, 09 de agosto del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Roberth Andrés Ordóñez Toro.

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación “**Evaluación de los procedimientos de eficiencia energética en los procesos de producción de una planta de alimentos**”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 09 de agosto del 2022

EL AUTOR

f. \_\_\_\_\_ 

Ing. Roberth Andrés Ordóñez Toro



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Roberth Andrés Ordóñez Toro.

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación de Maestría titulado: **“Evaluación de los procedimientos de eficiencia energética en los procesos de producción de una planta de alimentos”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 09 días del mes de agosto del año 2022

EL AUTOR

f. 

Ing. Roberth Andrés Ordóñez Toro

## INFORME DE URKUND

The screenshot displays the URKUND software interface. On the left, a document summary is shown: 'Documento: msa1300000001002012.pdf (D134646926)', 'Presentado: 2022-04-29 23:28 (-05:00)', 'Presentado por: luvaj1962@hotmail.com', and 'Recibido: luis.vallejo.ucsg@analysis.arkund.com'. A yellow box indicates '2% de estas 73 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is visible, listing three sources with checkboxes: 'msa1300000001002012.pdf', 'Tesis Locada Urkund.pdf', and '15-05-15\_PABLO BERRAZUETA.docx'. Below the interface, a preview of a document is shown, containing text from the 'UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN ELECTRICIDAD' and a certification statement signed by 'Ing. Luis Vallejo Samaniego, MSc. DIRECTOR DEL PROGRAMA' on '31 de marzo del 2022'.

**Conclusión:** La revisión de coincidencias del resultado de la revisión, considera la desactivación de la información de texto de los formatos de presentación de trabajos de titulación en la UCSG. Se adjunta documento de Reporte URKUND de la Revisión Final en medio digital. Porcentaje de coincidencia final del 2%.

Atentamente,

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc.

DOCENTE-TUTOR

**Dedicatoria**

Los estudios de maestría están dedicados a mi familia por el incondicional apoyo y amor.

Ordoñez Toro, Roberth Andrés

## **Agradecimientos**

Agradezco a los compañeros y docentes de la maestría en Electricidad por compartir todos sus conocimientos y experiencias en los campos laborales, a la empresa Alimentosa, por permitir ejercer profesionalmente y a toda mi familia que siempre he recibido el apoyo condicional para cumplir con los objetivos propuestos en particular con mi vida académica.

Ordoñez Toro, Roberth Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.

Ing. Armando Heras Sánchez, MSc.

TUTOR

f.

Ing. Manuel Romero Paz, MSc.

REVISOR

f.

Ing. Diana Bohórquez Heras, MSc.

REVISOR

f.

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPÍTULO 1 .....	20
INTRODUCCIÓN .....	20
1.1 Justificación y alcance.....	20
1.2 Planteamiento del problema. ....	21
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos .....	21
1.4 Tipo de investigación .....	22
1.5 Hipótesis de la investigación.....	22
1.6 Metodología de investigación .....	22
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	23
CAPÍTULO 2.....	23
CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL DE ALIMENTOS.....	23
2.1 Características de la industria de alimentos .....	23
2.1.1 Alimentos balanceados.....	23
2.1.2 Materias primas .....	24
2.2.3 Formulación .....	26
2.2.4 Sistemas de control de calidad .....	26
2.2 Procesos de producción de alimentos .....	27
2.2.1 Recepción y almacenamiento de materias primas .....	28
2.2.2 Dosificación .....	29

2.2.3 Molienda .....	30
2.2.5 Acondicionado .....	32
2.2.6 Peletizado .....	32
2.2.7 Extrusión .....	33
2.2.8 Enfriado y Secado .....	34
2.2.8 Ensacado .....	35
CAPÍTULO 3 .....	36
REDES Y EQUIPOS DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS .....	36
3.1 Redes de distribución de energía eléctrica .....	36
3.1.1 Transformadores .....	36
3.1.2 Elementos de protección .....	37
3.1.3 Instrumentos de medición .....	39
3.1.4 Compensación de la energía reactiva .....	42
3.2 Redes de generación y distribución de vapor .....	42
3.2.1 Sistema de alimentación y tratamiento de agua .....	43
3.2.2 Quemadores .....	44
3.2.3 Hogar de la caldera .....	45
3.2.4 Sistemas de distribución de vapor y retornos de condensados .....	45
3.3 Redes de aire comprimido .....	46
3.3.1 Compresor .....	47
3.3.2 Estanques .....	48
3.3.3 Secador de aire comprimido .....	48
3.3.4 Sistemas de evacuación de condensado .....	48
3.2 Equipos de procesamiento de alimentos .....	49
3.2.1 Molino de martillos .....	49
3.2.1 Mezcladora .....	50
3.2.1 Equipos de Peletizado .....	51

3.2.1 Bombas.....	52
3.2.2 Transportadores de material.....	53
3.2.3 Ventiladores .....	54
3.3 Mantenimiento de redes y equipos de procesamiento de alimentos .....	55
3.3.1 Limpieza de redes y equipos .....	56
3.3.2 Lubricación .....	56
3.3.3 Inspecciones y revisiones.....	56
3.3.4 Ajustes.....	57
CAPÍTULO 4.....	58
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.....	58
4.1 Eficiencia energética en industria alimentaria .....	58
4.2 Eficiencia energética en redes industriales .....	58
4.2.1 Tarifas de energía eléctrica .....	59
4.2.2 Factor de potencia en las redes eléctricas .....	59
4.2.3 Eficiencia energética en redes de vapor .....	63
4.2.4 Eficiencia energética en redes de aire comprimido.....	64
4.2.5 Eficiencia energética en iluminación .....	64
4.3 Eficiencia energética en equipos industriales .....	65
4.2.1 Eficiencia en motores eléctricos.....	65
4.2.2 Variadores de frecuencia.....	66
4.3.3 Aplicaciones de eficiencia energética en equipos según su torque.....	66
4.4 Auditoría energética en la industria de alimentos .....	68
4.1.1 Planificación y reunión inicial .....	69
4.2.2 Recopilación y revisión de datos.....	70
4.2.3 Análisis de la información y trabajo de campo.....	70
4.2.4 Identificación y mejora .....	71
4.5 Evaluación de inversiones en eficiencia energética.....	71

4.5.1 Período de Retorno Simple de la Inversión (Pay-Back) .....	72
4.5.2 Valor Actual Neto (VAN).....	72
4.5.3 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).....	73
CAPÍTULO 5 .....	74
NORMATIVA PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL .....	74
5.1 Normativa sobre eficiencia energética .....	74
5.1.1 Normativa internacional IEC60364-8-1 .....	74
5.1.2 Normas técnicas sobre motores.....	75
5.2 Norma INEN NTE – ISO 50001 .....	76
5.2.1 Planificación.....	79
5.2.2 Hacer: implementación y operación.....	83
5.2.3 Verificar .....	86
5.2.4 Actuar: revisión de la dirección .....	88
5.3 Normativa y regulación ecuatoriana en eficiencia energética.....	89
5.3.1 Constitución del Ecuador .....	89
5.3.1 Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica .....	90
5.3.2 Ley orgánica de eficiencia energética .....	90
PARTE II APORTACIONES .....	91
CAPÍTULO 6.....	91
CONSUMO ENERGÉTICO DE LA PLANTA DE ALIMENTOS.....	91
6.1 Topología de los procesos productivos de la planta de alimentos .....	91
6.1.1 Diagrama de flujo de los procesos de producción .....	92
6.2 Determinación del consumo energético .....	100
6.2.1 Registros históricos del consumo de energía .....	100
6.2.2 Consumo energético en los procesos de producción .....	103
CAPITULO 7 .....	106
EFICIENCIA ENERGETICA EN LA PLANTA DE ALIMENTOS.....	106

7.1 Análisis de la eficiencia energética de las redes .....	106
7.1.1 Mediciones a los transformadores de la planta de alimentos .....	106
7.1.1 Mediciones del factor de potencia en los transformadores de la planta.....	108
7.1.2 Análisis termográfico a los transformadores de la planta .....	112
7.1.2 Análisis termográfico a las redes de distribución .....	114
7.1 Eficiencia energética en los equipos de producción de la planta de alimentos..	118
7.1.1 Análisis de la demanda de los equipos del proceso de producción peletizado	118
7.1.2 Análisis de la demanda de los equipos del proceso de producción extrusión.	125
CAPÍTULO 8 .....	130
EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PLANTA .....	130
8.1 Análisis del consumo energética de los procesos de producción.....	130
8.1.1 Balance energético de la planta de alimentos .....	130
8.1.2 Calculo de la línea base.....	132
8.2 Evaluación de la eficiencia energética en función de las mejoras tecnológicas	135
8.2.1 Evaluación de las mejoras tecnológicas en las redes .....	135
8.2 Evaluación de las mejoras tecnológicas en los equipos de la planta.....	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
Conclusiones .....	146
Recomendaciones.....	148
BIBLIOGRAFÍA .....	149
ANEXOS .....	156

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Composición de materias primas.....	25
Figura 2.2 Proporcionalidad de las causas de no cumplir con las especificaciones. .	27
Figura 2.3 Flujograma de los procesos industriales de alimentos.....	28
Figura 2.4 Silos utilizados para el almacenamiento de materias prima .....	29
Figura 2.5 Interfaz gráfica Scada de un sistema automatizado de dosificación.....	30
Figura 2.6 Proceso de extrusión .....	33
Figura 2.7 Enfriador vertical .....	34
Figura 2.8 Ensacadora automática .....	35
Figura 3.1 Detalle de una subestación y componentes de un transformador .....	37
Figura 3.2 Temperatura e incremento de pérdidas de un transformador .....	37
Figura 3.3 Tipos de fusibles para protección de circuitos eléctricos .....	38
Figura 3.4 Interruptores para protección de circuitos en media y baja tensión.....	39
Figura 3.5 Modelos de TP y TC.....	41
Figura 3.6 Redes de generación y distribución de vapor .....	43
Figura 3.7 Modelo de quemador de un caldero .....	44
Figura 3.8 Sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.....	46
Figura 3.9 Diagrama de flujo de una red de aire comprimido .....	46
Figura 3.10 Clasificación de compresores según su principio de funcionamiento ....	47
Figura 3.11 Molino de Martillos .....	50
Figura 3.12 Equipo de pelletizado y las componentes .....	51
Figura 3.13 Métodos de control empleados en el bombeo .....	52
Figura 3.14 Métodos de control de los transportadores .....	54
Figura 3.15 Formas de las aspas en ventiladores centrífugos .....	55
Figura 4.1 Representación del triángulo de potencias .....	60
Figura 4.2 Curvas de operación de una carga de torque variable .....	67
Figura 4.3 Mapa conceptual de una auditoría de eficiencia energética .....	69
Figura 5.1 Clasificación de eficiencia según la IEC 60034-30.....	75
Figura 5.2 Modelo de gestión de la energía .....	77
Figura 5.3 Diagrama conceptual de la etapa de planificación energética .....	80
Figura 5.4 Línea base consumo de energía kWh versus a producción en toneladas .	82
Figura 5.5 Etapas de implementación y operación de sistema de gestión ISO 5000183	

Figura 5.6 Factores de comunicación en la ISO 500001 .....	84
Figura 5.7 Elementos del manual del sistema de gestión de energía ISO 500001.....	85
Figura 5.8 Aspectos de control operacional en la ISO 50001 .....	86
Figura 5.9 Etapas de la verificación del ISO 50001.....	86
Figura 5.10 Seguimiento de las acciones correctivas.....	88
Figura 5.11 Factores para la revisión del desempeño energético .....	88
Figura 6.1 División de las áreas en la planta de alimentos a intervenir. ....	91
Figura 6.2 Diagrama de proceso de productos extruidos.....	94
Figura 6.3 Diagrama unifilar de la red eléctrica .....	97
Figura 6.4 Red de generación de aire comprimido N°1 .....	99
Figura 6.5 Red de generación de aire comprimido N°2.....	99
Figura 6.6 Perfil del consumo de aire comprimido sala 1.....	105
Figura 6.7 Perfil del consumo de aire comprimido sala 1.....	105
Figura 7.1 Cargabilidad potencia activa (kW) Trafo A – 2500 kV .....	107
Figura 7.2 Cargabilidad potencia activa (kW) Trafo A – 2500 kV .....	107
Figura 7.3 Cargabilidad potencia activa (kW) Trafo A – 2500 kV .....	108
Figura 7.4 Factor de potencia Trafo A.....	109
Figura 7.5 Factor de potencia Trafo B .....	109
Figura 7.6 Factor de potencia Trafo C .....	110
Figura 7.7 Voltaje transformador A.....	110
Figura 7.8 Voltaje transformador B .....	111
Figura 7.9 Voltaje transformador C .....	111
Figura 7.10 Termografía transformador A.....	112
Figura 7.11 Termografía transformador B.....	112
Figura 7.12 Termografía transformador C .....	113
Figura 7.13 Termografía caldero Bosh .....	114
Figura 7.14 Termografía válvulas de distribución de vapor principal .....	115
Figura 7.15 Termografía de tuberías principales de distribución .....	115
Figura 7.16 Termografía de tubería principal proceso de extrusión .....	116
Figura 7.17 Termografía válvulas de distribución procesos de peletizado.....	116
Figura 7.18 Termografía de separadores del proceso de producción de peletizado	117
Figura 7.19 Termografía de separadores del proceso de producción de extrusión..	117
Figura 8.1 Balance de energía eléctrica de la planta de alimentos.....	131
Figura 8.2 Balance de energía térmica.....	132

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de alimentos balanceados.....	23
Tabla 2.2 Comparación de alimentos de acuerdo con la preparación.....	24
Tabla 2.3 Interpretación del coeficiente de variación .....	31
Tabla 3.1 Características de instrumentos de medición .....	40
Tabla 4.1 Tarifas horarias diferenciadas .....	59
Tabla 4.2 Aumento de la potencia disponible en % de un transformador .....	61
Tabla 4.3 Niveles de compensación de la energía reactiva.....	62
Tabla 5.1 Metodología de cálculo para la valoración global .....	75
Tabla 5.2 Desarrollo de la norma ISO 50001 .....	78
Tabla 5.3 Tipos de línea base .....	81
Tabla 5.4 Indicadores de desempeño energético.....	82
Tabla 5.5 Proceso de auditoría interna.....	87
Tabla 6.1 Especificaciones técnicas de los transformadores de potencia .....	95
Tabla 6.2 Sistema de generación de vapor de la planta de alimentos .....	98
Tabla 6.3 Sistema de generación de aire comprimido de la planta de alimentos.....	100
Tabla 6.4 Registro anual del consumo de energía.....	101
Tabla 6.5 Datos históricos consumo de energía eléctrica .....	101
Tabla 6.6 Datos históricos consumo de combustible .....	102
Tabla 6.7 Registro del consumo de energía eléctrica de los procesos .....	103
Tabla 6.8 Consumos de combustible diarios de los procesos de producción .....	104
Tabla 7.1 Medición de los gases de combustión.....	114
Tabla 7.2 Demanda de energía eléctrica recepción materias primas N°1 .....	118
Tabla 7.3 Demanda de energía eléctrica recepción materia prima N°2.....	119
Tabla 7.4 Consumo de energía eléctrica dosificación.....	120
Tabla 7.5 Demanda de energía eléctrica proceso de mezclado.....	121
Tabla 7.6 Demanda de energía proceso de molienda.....	122
Tabla 7.7 Demanda de energía eléctrica proceso de enfriado.....	123
Tabla 7.8 Demanda de energía eléctrica proceso de enfriado.....	124
Tabla 7.9 Demanda de energía eléctrica proceso de ensacado .....	125
Tabla 7.10 Demanda de energía eléctrica proceso de dosificación .....	126
Tabla 7.11 Demanda de energía eléctrica proceso de molienda .....	127



Tabla 7.12 Demanda de energía eléctrica proceso de mezclado.....	127
Tabla 7.13 Demanda de energía eléctrica proceso de extrusión .....	128
Tabla 7.14 Demanda de energía eléctrica proceso de secado .....	128
Tabla 7.15 Consumo de energía eléctrica proceso de enfriado.....	129
Tabla 7.16 Consumo de energía eléctrica proceso de ensacado .....	129
Tabla 8.1 Cálculo del ahorro por la instalación de un recuperador de calor.....	135
Tabla 8.2 VAN, TIR y payback por la instalación de un recuperador de calor .....	136
Tabla 8.3 Cálculo del ahorro por la instalación de estabilizadores de voltaje .....	136
Tabla 8.4 VAN, TIR y payback por la instalación de estabilizadores de voltaje ....	137
Tabla 8.5 Cálculo estimado del ahorro por el cambio de luminarias eficientes .....	138
Tabla 8.6 Cálculo del VAN, TIR y payback por cambio de luminarias eficientes..	138
Tabla 8.7 Cálculo del ahorro por la instalación de sensores de movimiento.....	139
Tabla 8.8 VAN, TIR y payback por la instalación de sensores de movimiento .....	140
Tabla 8.9 Cálculo estimado del ahorro por la instalación de aislamiento térmico ..	140
Tabla 8.10 Cálculo del VAN, TIR y payback por instalación de aislante térmico ..	141
Tabla 8.11 Análisis de carga en el proceso de molienda .....	141
Tabla 8.12 Cálculo del VAN, TIR y payback por instalación de aislante térmico ..	142
Tabla 8.13 Análisis comparativo de la instalación de variadores de frecuencia.....	142
Tabla 8.14 Análisis del ahorro por la instalación de variadores de frecuencia.....	143
Tabla 8.15 VAN, TIR y payback por variadores de frecuencia en equipos.....	144
Tabla 8.16 Análisis del reemplazo de equipos ineficientes .....	144
Tabla 8.17 Cálculo del VAN, TIR y payback por reemplazo equipos ineficientes .	145

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación se evalúan los procedimientos de eficiencia energética, utilizando documentación, normas y estándares; basados en procedimientos para la intervención del diagnóstico, análisis y evaluación energética, está enfocada en una planta de alimentos ubicada en la provincia del Guayas. Para la investigación se compilan fuentes principalmente de libros, guías, artículos de revistas y tesis académicas. Esta desarrollado en dos partes: la primera parte corresponde a la teoría y conceptos fundamentales de los procesos de alimentos, las redes de servicios con los equipos usados para la elaboración, la eficiencia energética en la industria y la normativa aplicada; en la segunda parte en el desarrollo se muestran las características de los procesos de producción de la planta de alimentos y de las redes la cual está conformada, se registran y se determinan los consumos energéticos de los diferentes sistemas mediante cálculos y mediciones en campo; además se ejecuta un análisis de los criterios de eficiencia energética mediante auditorías enfocadas a los procesos de producción, empleando instrumentos de medición y conceptos actualizados que aportaran a la identificación de oportunidades de mejora que servirán para desarrollar la evaluación de la factibilidad de aplicación y lograr un desempeño mejor en la eficiencia energética.

***Palabras claves:*** procesos de producción, eficiencia energética, planta de alimentos, evaluación energética

## ABSTRACT

The present degree work evaluates energy efficiency procedures, using documentation, norms and standards; based on procedures for the intervention of diagnosis, analysis and energy evaluation, it is focused on a food plant located in the province of Guayas. For research, sources are compiled mainly from books, guides, journal articles and academic theses. It is developed in two parts: the first part corresponds to the theory and fundamental concepts of food processes, service networks with the equipment used for processing, energy efficiency in industry and applied regulations; in the second part in the development the characteristics of the production processes of the food plant and the networks which is formed are shown, the energy consumption of the different systems is recorded and determined by means of calculations and measurements in the field; In addition, an analysis of the energy efficiency criteria is carried out through audits focused on the production processes, using measurement instruments and updated concepts that will contribute to the identification of opportunities for improvement that will serve to develop the evaluation of the feasibility of application and achieve a better performance in energy efficiency.

**Keywords:** production processes, energy efficiency, food plant, energy evaluation

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Justificación y alcance

Cada año se investiga el incremento de las temperaturas en los hemisferios de la tierra, debido a la emisión de gases de efecto invernadero, el CO<sub>2</sub> es un caso, que se genera por la quema de combustibles derivados del petróleo, utilizado a su vez para la generación de electricidad, para solventar la demanda energética de los diferentes consumidores (Bobadilla, 2019). Estudios de eficiencia energética en latinoamericanos e internacionales en múltiples procesos de producción se han desarrollado con éxito, a través de nuevas tecnologías innovadoras de gestión y aplicación de normas como la ISO 50001. En Ecuador los consumidores industriales empresarial usa el 14% del total de la electricidad para obtener fuerza motriz y calor en los procesos de producción. (Carrillo Rojas, Andrade Rodas, Barragán Escandón, & Astudillo Alemán, 2014).

Los motores eléctricos de inducción, hoy en día se utilizan en varias aplicaciones en los procesos de producción en plantas industriales. Los motores consumen el 40% de la demanda mundial de electricidad y en la industria figuran un 75%. La búsqueda de métodos para el ahorro y eficiencia de energía para el sector industrial fortalece la gestión de producción y la competitividad (Suarez, 2017). En Ecuador desde el mes de marzo del 2019 promueve el uso racional, eficiente y sostenible de la energía, mediante la aprobación de la ley orgánica de eficiencia energética donde integra a los consumidores en especialmente a los grandes a que formen un sistema de gestión energético, para que evaluase o auditen sus activos evidenciando sus desempeños energéticos (El Comercio, 2019).

El alcance de la investigación es la intervención de los procesos de producción de una planta de alimentos situada en la provincia del Guayas, cuyo objeto es la evaluación de los procedimientos de eficiencia energética, para lo cual se realiza un levantamiento de los procesos de producción, de las redes y los equipos utilizados para la elaboración de alimentos, para posterior determinar los consumos energéticos,

analizarlos mediante la aplicación de criterios de eficiencia energética y finalmente evaluar el estado actual y proyectar las oportunidades de ahorro para mejorar la eficiencia energética de los procesos de producción de alimentos .

## **1.2 Planteamiento del problema.**

Los procesos de producción de una planta de alimento actualmente carecen de aplicaciones en conceptos de eficiencia energética que permita obtener consumos energéticos consecuentes, debido a la ausencia de doctrinas de registro e interpretación de datos, por falta de instrumentación adecuada para medir y controlar indicadores energéticos, y por no disponer de equipamientos eficientes, provocando que los procesos de producción tengan altos costos y pérdidas energéticas. Por medio de la valoración de esta investigación, se logra que los procesos de producción de la planta de alimentos estén acorde a los objetivos y lineamientos actuales de los procedimientos de eficiencia energética.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar los procedimientos de eficiencia energética para la identificación de opciones de mejora en los procesos de producción de una planta de alimentos, empleando los criterios establecidos de la norma NTE INEN – ISO 50001.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el consumo energético de los procesos de producción de la planta de alimentos a intervenir.
- Analizar los criterios de eficiencia energética hacer aplicados en los procesos de producción de la planta de alimentos.
- Evaluar la eficiencia energética en función del consumo energético y las mejoras tecnológicas.

#### **1.4 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo documental, descriptivo, analítico y cuantitativa; enfocada a los procesos de producción de una planta de alimentos, la cual el campo de acción será evaluar los procedimientos de eficiencia energética.

#### **1.5 Hipótesis de la investigación**

Mediante la evaluación de los procedimientos de eficiencia energética en una planta de alimentos se pretende alcanzar un embanderamiento del B al A.

#### **1.6 Metodología de investigación**

La metodología a usar en el proyecto de investigación está orientada a establecer las condiciones actuales de consumo energético que demanda la planta de alimentos tanto en sus redes de servicio, así como también en sus equipamientos que dispone en los procesos de producción, una vez que se establezca el diagnóstico se procede al análisis de sus suministros que tengan carácter de eficiencia energética y que permita ubicarlos correctamente según esta valoración realizada de forma que permita evaluar el nivel de eficiencia energética que requiere la planta para un aprovechamiento óptimo de sus recursos.

## PARTE I MARCO TEÓRICO

### CAPÍTULO 2

#### CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL DE ALIMENTOS

##### 2.1 Características de la industria de alimentos

En el presente capítulo se especifican las características esenciales de los procesos industriales de alimentos, se señala como es el comportamiento y los procedimientos estándares que son aplicados, para obtener productos de calidad que puedan ser competitivos en el tipo de mercado. En la tabla 2.1 se describen tres tipos de alimentos con los objetivos que buscan y de acuerdo con la composición que se conocen: purificados, semi-purificados y prácticos (Chachapoyas D., 2014).

**Tabla 2.1**

*Tipos de alimentos balanceados*

Tipo	Composición	Objetivo
Purificados	Aminoácidos sintéticos, ácidos grasos, vitaminas y minerales puros	Fines investigativos
Semi-purificados	Ingredientes naturales de manera pura	Determinar eficiencia en términos de conversión alimenticia, ganancia y peso
Prácticos	Alimentos accesibles y disponibles en ese momento	Satisfacer necesidades a costo mínimo

*Nota:* Tomado de Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos (p,2). Por Chachapoyas Rivas, 2014.

##### 2.1.1 Alimentos balanceados

La industria de alimentos balanceados proporciona, por medio de nutrientes necesarios a las dietas animales para el crecimiento adecuado, en función a los requerimientos de conformidad a la especie, cronología de vida y edad; además, investiga los modelos de alimentación eficiente, con características nutricionales perfectas, con controles de calidad exigentes, obteniendo así tiempos y costes reducidos para la producción animal (Muñoz D., 2017). La agroindustria es un sector relevante en el Ecuador, dentro de esta zona se encuentra la industria de

alimentos balanceados, donde convergen varias actividades con efectos positivos en la nutrición animal y la economía (Lara A. & Mendoza M., 2018). Los productos son comercializados en el sector agropecuario como ganadería, avicultura, porcicultura, etc. Los mismos que son elaborados en plantas que constan de la infraestructura y los artefactos que se requiere para la transformación de masa y energía. En la siguiente tabla 2.2, se identifican las diferentes preparaciones y características de alimentos, mediante una comparación que ilustran la cualidades, ventajas y desventajas.

**Tabla 2.2**

*Comparación de alimentos de acuerdo con la preparación*

Descripción	Harina	Peletizado	Extrusión
Procesamiento	Seco	Húmedo	Seco o húmedo
Temperatura °C	Ambiente	60 - 80 °C	70 - 160 °C
% Humedad adicional	No	15 - 17%	Hasta
% Humedad grasa	No	20%	30%
Maquina	Manual	Peletizadora	Extrusores
Costos	Bajos	Normal	Costosos
Esterilidad	Nulos	Buena	Excelente
Hundimiento	Hundibles	Hundibles	Flotantes
Forma del producto	Harina	Cilíndrica	Forma de matriz
Aglutinantes	No	Si	No
Digestibilidad	Normal	Buena	Excelente

*Nota:* Tomado de Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos (p,3-4). Por Chachapoyas Rivas, 2014.

### 2.1.2 Materias primas

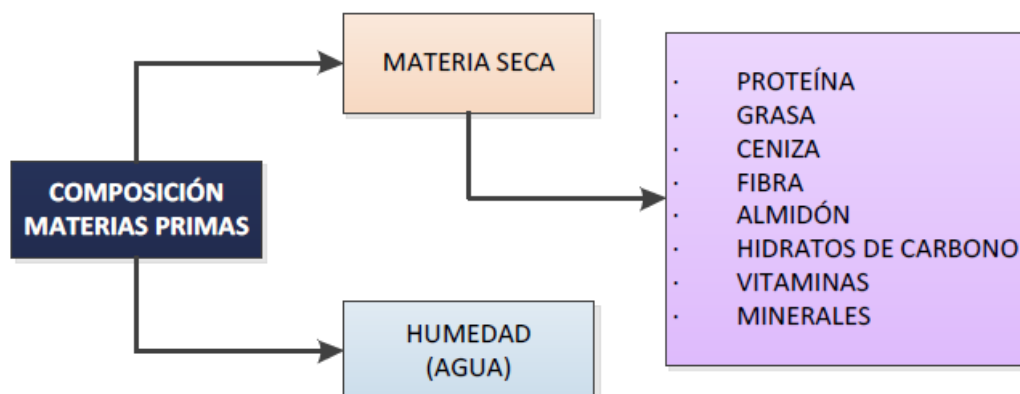
Los principales problemas para la elaboración de alimentos para nutrición animal, es el requerimiento de nuevas materias primas y el conocimiento de la composición de estas para su formulación, para así determinar los valores límites de inclusión y el impacto de la calidad alimenticia de la dieta. La mayoría de las materias primas que se usan para elaborar alimentos balanceados pueden ser de origen vegetal o derivados agroindustriales, en otras ocasiones también suelen ser productos de origen animal. Las características primordiales físicas que se toman en cuenta en la compra y venta de las materias primas son la humedad y el porcentaje de proteína; un factor básico que se mide es la humedad, ya que la presencia de un porcentaje alto del mismo podría existir riesgos de proliferación de hongos y bacterias durante su almacenamiento, y en los procesos de producción en



especial en la molienda se pierde ese porcentaje inicial, perdiendo así el peso en el producto final. Es importante al momento de la formulación conocer la composición nutricional de las materias primas, se observan en la figura 2.1, ya que es posible determinar los límites máximos y mínimos de inclusión para que no afectar la calidad nutricional de las dietas (Chachapoyas D., 2014).

**Figura 2.1**

*Composición de materias primas*



*Nota:* Tomado de *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos* (p,3-4). Por Chachapoyas Rivas, 2014.

Entre las materias primas que son más utilizadas se encuentran varias de origen vegetal; el afrecho de trigo, sus residuos son considerables en la mayoría de las formulaciones y su contenido de fibra desarrolla mejor digestibilidad; otro subproducto importante es el polvillo de arroz, el cual se obtiene de moler el grano disminuyendo a particular finas, ofreciendo una mayor facilidad en la digestión (Chachapoyas D., 2014).

Un ingrediente de óptimos orígenes de proteína y buen contribuyente de aminoácidos, de procedencia vegetal, en la actualidad es la pasta o harina de soja, donde a menudo la tendencia a reemplazado hasta la mitad de la proteína de origen animal como la harina de pescado (Apaza R., 2019). Entre las variedades de ingredientes o materias primas de origen animal están las harinas, el producto primario se obtiene a través de los residuos que genera la pesca industrial o las plantas atuneras, las mismas que son elaboradas por medio de transformación térmica para mantener sus propiedades nutricionales y garantizar la situación de inocuidad (Parrales V. & Tamayo J., 2012).

### **2.2.3 Formulación**

La Formulación es aquel procedimiento en la cual dispone la cantidad nutricional que comprenderá la dieta que necesita el animal. Para efectuar la fórmula es imprescindible conocer el valor alimenticio que se disponga en la bodega con referencia a las materias primas, también de estudiar los requerimientos nutricionales de cada especie y su crecimiento cronológico de vida (Chachapoyas D., 2014). El responsable de la formulación es el nutricionista, la cual la lleva a cabo en un software, donde a continuación es cargada mediante medios de comunicación electrónica a un controlador lógico programable, el cual permite la operación automática de la dosificación de las materias primas y a su vez, registra históricos de las fórmulas para que sean evaluados por el departamento de producción y nutrición (Terrones W., 2019).

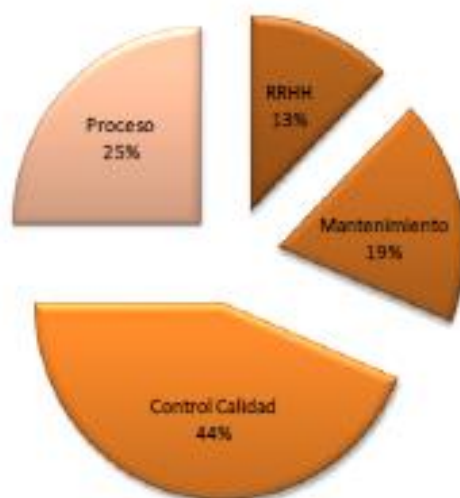
### **2.2.4 Sistemas de control de calidad**

En las plantas de alimentos balanceados los sistemas de control de calidad es una obligación que los procesos ameritan para asegurar que los procesos de producción se cumplan con los estándares implantados. Hoy en día existen varios sistemas de calidad, la cual son instaurados en las empresas y resultan buenas guías para gestionar y administrar lo que concierne a los parámetros de calidad en la fabricación de los alimentos; estas aplicaciones de estándares, a su vez garantizan la nutrición animal (Broncano A., 2016).

La carencia en la implementación de los sistemas de control de calidad no permite examinar los parámetros en cada etapa de los procesos, lo cual puede afectar significativamente el crecimiento comercial. (Galarza M., 2015). En la siguiente figura 2.2, se observa la influencia de cada departamento con las causas de no cumplimiento con las especificaciones del alimento, se evidencia el papel fundamental que debe cumplir el control de calidad, ya que comprende un 44% de causales que, si no se siguen según lo estipulado, los productos o alimentos fabricados no tendrán las expectativas de los clientes, además los controles del proceso y un correcto mantenimiento también son pilares fundamentales para obtener la calidad esperada.

**Figura 2.2**

*Proporcionalidad de las causas de no cumplir con las especificaciones.*



*Nota:* En el gráfico tipo pastel se muestran un balance de los departamentos responsables a cumplir con las especificaciones de calidad. Tomado de *Estudio y propuesta de mejora del control de los procesos de elaboración y calidad en la producción de alimento balanceado* (p.51), por Galarza Ramos, Magda Cecilia, 2015.

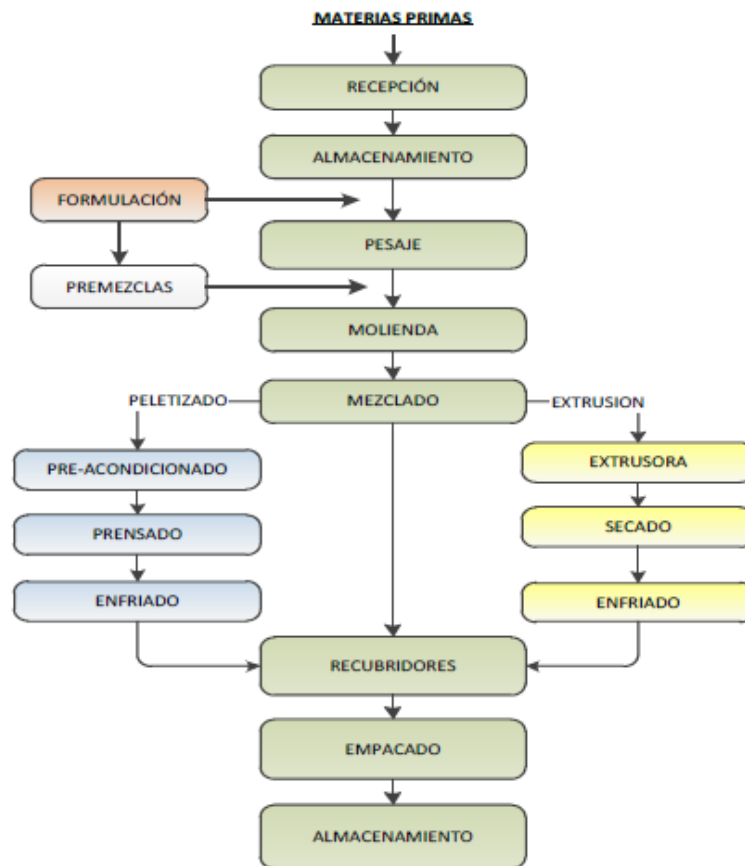
## 2.2 Procesos de producción de alimentos

Actualmente los procesos de producción en las plantas de alimentos tienen similitudes en la estructura de los flujogramas para la industria, en la figura 2.3 se muestran cómo están constituidos; en común las plantas mantienen como punto de partida procedimientos para la recepción y almacenamiento de las materias primas que aseguran la producción planificada de los productos requeridos por los clientes; una vez conseguidos los ingredientes se realizan las fórmulas incluyendo las premezcladas, para que mediante procesos de dosificación y pesaje, pasen posteriormente a molerse y mezclarse.

Es importante señalar, que, para dar continuidad al proceso industrial, el resultado de la mezcla debe cumplir con los controles de calidad, para permitir que en los siguientes procesos fundamentales de peletizado y extrusado se fabriquen los productos finales con las especificaciones y estándares aplicados. Luego de obtener la forma del alimento del peletizado o del extrusado, se necesitan dos factores imprescindibles por un lado enfriarlo o reducir la temperatura y por el otro secarlo o disminuir la humedad del producto, son parámetros claves en los procesos de producción de alimentos ya que, si no se logra lo establecido, no será envasado.

**Figura 2.3**

*Flujograma de los procesos industriales de alimentos*



*Nota:* Tomado de *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos* (p,3-4). Por Chachapoyas Rivas, 2014.

### 2.2.1 Recepción y almacenamiento de materias primas

La recepción de materias primas es el punto de partida y una importante etapa en las plantas de alimentos, ya que es determinante para obtener productos terminados de calidad, durante la transformación de materia y energía en los diferentes procesos de producción. Las materias primas macros se reciben, pesan y acopian en bodegas o en silos al granel, los mismos que integran sistemas de aireación con la finalidad de conservar en términos ambientales adecuados, en el transcurso de este periodo las condiciones del transporte de estas materias primas se inspeccionan de manera visual y se muestrean cada cierto tiempo para determinar alteraciones por plagas; por el contrario las materias primas micro se receiptan en bolsas o con frecuencia en sacos de 25 a 40 kg, que son conservados en pallets de madera o metálicos, cercanos al proceso de dosificación. Es fundamental e importante que lo primero que se almacena es lo primero que se envía al proceso

(Galarza M., 2015). En la figura 2.4 se constata un sistema de almacenamiento de materias primas utilizando silos, se observa que en la parte superior los silos se conectan por medio de una estructura y en aquella estructura está montado un equipo que tiene el objetivo de transportar la materia prima en el silo de almacenamiento.

**Figura 2.4**

*Silos utilizados para el almacenamiento de materias prima*



*Nota:* En el gráfico se muestran el almacenamiento de materias primas a través de silos. Tomado de *Evaluación energética en una planta de alimentos balanceados para animales* (p,35). Por Chacón Cordero, 2015.

### **2.2.2 Dosificación**

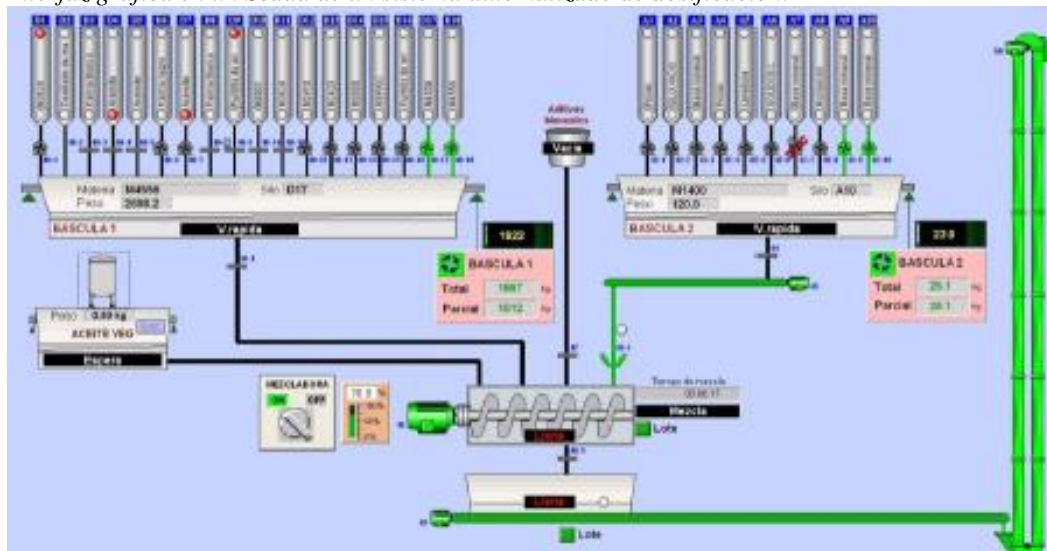
En la elaboración de alimentos, el proceso de dosificación se constituye como fundamental, ya que en un “batch” las materias deben aplicarse o pesarse con precisión, acorde a la determinación de la fórmula, es por aquello que las básculas digitales cuenten con un registro de mantenimiento óptimo y plan de calibraciones con personal especializado, para mantener adecuadamente el historial de pesaje de materias primas dosificadas. Es verdad que existe tolerancias especificadas en los pesos, sin embargo, si no hay acciones de mejora, las pérdidas económicas pueden generarse en estos sistemas (Broncano A., 2016).

En la figura 2.5, se muestra cómo está conformado el sistema de dosificación en una interfaz gráfica del Scada, para automatización del proceso, se puede observar cómo es el diseño, con una tolva para el almacenamiento de los

ingredientes o materias primas, el equipo transportador gravimétrico para ser pesado en una báscula.

**Figura 2.5**

*Interfaz gráfica en un Scada de un sistema automatizado de dosificación.*



*Nota:* En el gráfico se muestran como estas compuertas la interfaz gráfica de un sistema Scada para la automatización de un proceso de dosificación. Tomado de *Evaluación energética en una planta de alimentos balanceados para animales* (p.39). por Chacón Cordero, 2015.

### 2.2.3 Molienda

La molienda es un proceso unitario, la cual comienza la transformación de la materia prima, el objetivo es obtener la granulometría adecuada tanto en tamaño, como también en forma. La función de la molienda en el proceso de producción es muy importante, ya que de la magnitud de la partícula predominara en gran medida del buen desempeño de los procesos posteriores de la industrialización de alimentos. En este ciclo se reducen el tamaño de las partículas, mediante la operación de molinos de martillos, esta disminución favorece la homogenización de la materia en el transcurso del proceso de mezclado (Galarza M., 2015). Por el momento, uno de los métodos efectivos para el control del tamaño de partículas es a través de la instalación de mallas y cribas, seleccionadas dependiendo de la medida de partícula que se pretende conseguir. El proceso de molienda en la producción de alimentos balanceados signifique entre el 50-60% de los costos de elaboración dependiendo de la capacidad y el rendimiento de los equipos (Broncano A., 2016).

### 2.2.4 Mezclado

El proceso de mezclado tiene como propósito integrar las materias primas conocidas como macros (granos, pastas), micros (vitaminas, minerales y premezclas) y los líquidos (grasas y melazas), los ingredientes son descargados en el equipo por sistemas gravimétricos o de bombeo, pesados en cada batch según la programación de la receta, durante un tiempo programado de entre 5 a 10 minutos, en el mercado se pueden encontrar de diferentes tipos como por ejemplo paletas o de cinta. El objetivo fundamental es homogenizar cada porción de materia prima en la mezcla, otro punto a indicar es la importancia con el cumplimiento de estándares especificados por el cliente o por regulaciones legales de cada país, la vigilancia mediante el muestro es determinante para el aseguramiento de la calidad en los posteriores procesos de fabricación de los alimentos (Galarza M., 2015).

Las materias primas disponen de propiedades físicas que impactan en el buen mezclado con los demás ingredientes, factores destacados son el tamaño de partícula, densidad, forma y características de superficie, adhesividad y sensibilidad a cargas electrostáticas; la carencia de uniformidad en el mezclado ocasionan resultados negativos, debido a que algunos ingredientes no se encuentran en las cantidades diarias que requiera la alimentación, es así, que la homogenización es necesaria para maximizar los nutrientes en una. Para definir los valores de cada ingrediente, el nutricionista determina inevitable, establecer la toma de muestras en un periodo de tiempo; en la tabla 2.3 se observa las recomendaciones del número de muestras y que medidas de acción ejecutar si el coeficiente es mayor al 10%, por ejemplo, se deben identificar las fallas en el proceso de mezclado (Chachapoyas D., 2014).

**Tabla 2.3**

*Interpretación del coeficiente de variación*

Coeficiente de variación %	Rango	Acciones correctivas
< 10 %	Excelente	Ninguna
10 - 15 %	Bueno	Inspección del mezclador
15 - 20 %	Aceptable	Aumentar tiempo de mezclado, revisar partes con desgaste, revisar nivel del mezclador o sincronización de integración de los ingredientes
> 10 %	Pobre	Consultar con el fabricante

*Nota:* Tomado de Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos (p,6). Por Chachapoyas Rivas, 2014.

### **2.2.5 Acondicionado**

La mayor parte de plantas de alimentos balanceados consideran al acondicionado como el proceso crítico de control, ya que desde la perspectiva de inocuidad del producto ya que es donde se cocinan las mezclas de harina previo a la peletización y la finalidad es lograr deshacer los microorganismos patógenos y gelatinizar los almidones de las materias. El acondicionamiento se ubica posterior a la matriz de peletizado y su funcionalidad es mezclar las harinas y el vapor de agua de manera homogénea, controlando la presión, temperatura y tiempo de detención (Galarza M., 2015).

Cuando la retención de la mezcla de harinas es mayor en el acondicionamiento hay mejor homogenización con el vapor inyectado, obteniendo características deseadas de la calidad de la granulometría de los piensos. Por lo general la temperatura de trabajo se encuentra entre los 80 °C hasta los 90°C y la presión es regulada a 30 psi, es esencial la monitorización de estas variables para mejorar la calidad del proceso (Galarza M., 2015).

### **2.2.6 Peletizado**

Se conoce a esta etapa del proceso como granulación, la cual se basa en comprimir o prensar las harinas y mezclas; para alcanzar esta compresión se necesita una matriz conformada por dados y rodillos, las cuales operan en la transformación de la masa gelatinizada en pequeñas figuras cilíndricas. El proceso es determinante, por eso se busca el rendimiento óptimo de operación como la ratio de producción y consumo de energía, para conseguir piensos de calidad, los controles se realizan observando el producto a la salida de la matriz, por tanto, permite la decisión de ir tomando medidas correctoras y soluciones (Lara A. & Mendoza M., 2018).

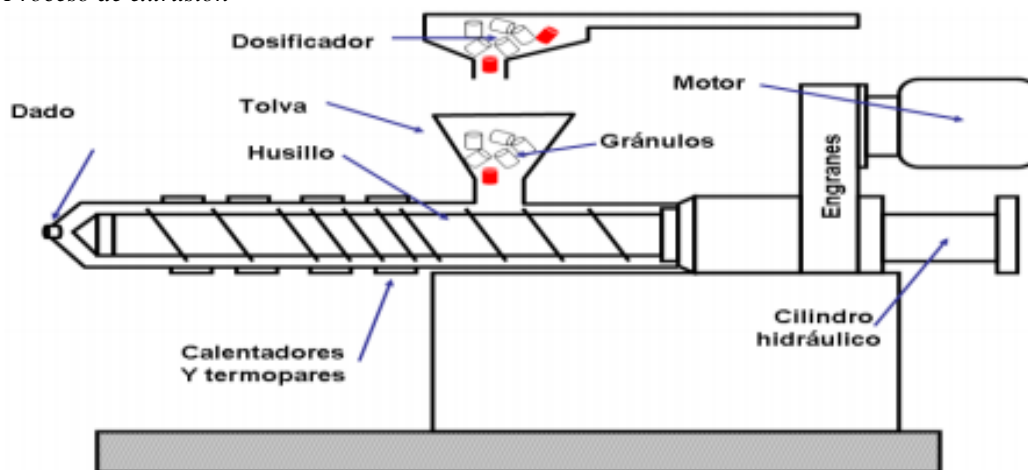
Los piensos o pelets tienen dimensiones estándar, los diámetros están entre 0,4 y 2,2 cm y la longitud es de 1 a 3 cm, el tamaño de los pelets depende de la especie animal que se requiere alimentar (Galarza M., 2015).



### 2.2.7 Extrusión

El proceso de extrusión enlaza varias operaciones unitarias posteriores como las que se describen anteriormente. La cualidad de la extrusión es que otorga productos con mejor calidad y los alimentos se preparan en menor tiempo de cocción, así como también disminuyen los estragos de los nutrientes que son sensibles al calor, es lo que hace diferente al proceso de peletizado. (Remache A., 2016) describe que “*La cocción por extrusión ha sido definida, como un proceso de humidificación, expansión de almidones y/o proteínas, con la combinación de humedad, presión, calor y fricción mecánica, que provoca la elevación de la temperatura de la masa, dando como resultado la gelatinización de los almidones y la expansión exotérmica*”, mediante el calor y la fricción hace posible que el alto contenido de almidón se expanda y absorba agua hasta un 16%, resultando una masa pegajosa, plástica y más soluble.

**Figura 2.6**  
Proceso de extrusión



*Nota:* Tomado de *Desarrollo de un snack por extrusión de la mezcla de maíz zea mays quinua chenopodium quínoa y chocho lupinus mutabilis sweet saborizado* (p.15). Por Remache Limaico, 2016.

En la figura 2.6 se observa el proceso de extrusión, se evidencia que está conformada por un dosificador de producto, por lo general se utiliza un transportador de tornillo sin fin que alimenta de producto a la tolva del extrusor; el extrusor es accionado por un motor eléctrico y mediante un conjunto de engranajes se reduce la velocidad para obtener mejor compresión en el dado.

### 2.2.8 Enfriado y Secado

El objetivo proceso de enfriamiento es disminuir la temperatura, separar la humedad y el calor del alimento, con la finalidad de prolongar la conservación. El proceso está formado por una recámara vertical, donde el producto fluye por gravedad y mediante un ventilador se aspira el aire a través de las columnas donde se encuentra el alimento. Los gránulos o pelets ingresan al equipo con el 15% de humedad 80°C de temperatura; por medio de la circulación convierte la humedad a través del proceso de evaporación, logrando a la salida del enfriador entre 11-13% de humedad y 5°C máximo de temperatura con respecto al ambiente, bajo las condiciones indicadas se procederá al ensacado (Galarza M., 2015).

Factores que se deben tomar en cuenta en la operación del proceso, de acuerdo con el tiempo de permanencia del producto en la recamará de enfriamiento, dependerá la cantidad de aire aplicada y la densidad o el espesor de los gránulos. En la figura 2.7 se muestra la representación gráfica del proceso de enfriamiento, en la parte superior consta de una válvula rotativa motorizada, quien se encarga de descargar el producto de manera gravitatoria a la recámara donde por un determinado tiempo adecuado y determinado por los controles de calidad (Galarza M., 2015).

**Figura 2.7**  
*Enfriador vertical*



*Nota: Tomado de Estudio y propuesta de mejora del control de los procesos de elaboración y calidad en la producción de alimento balanceado (p,33). Por Galarza Ramos, 2015.*

### 2.2.8 Ensacado

En el proceso de ensacado culmina la producción de alimentos y es donde se empaca el producto con el principal objetivo de conservarlo hasta la utilización. Los parámetros de calidad en este proceso son esenciales ya que si se cumplen captará la atención de nuevos clientes, el comprador por lo general examina el empaque, por el hecho de que proporciona la comodidad para la distribución, conservación y manipulación. El pesaje del alimento es fundamental en el proceso y la calibración cumple un papel determinante para minimizar las pérdidas por excedentes o faltantes en el empaque, además de la codificación, el registro de la información y el almacenamiento suman al cierre del proceso (Ledesma A. & Ortega J., 2017). En la figura 2.8 se observa el modelo de una ensacadora tipo automática para el envase del producto terminado.

**Figura 2.8**  
*Ensacadora automática*



*Nota: Tomado de Estudio y propuesta de mejora del control de los procesos de elaboración y calidad en la producción de alimento balanceado (p,33). Por Galarza Ramos, 2015.*

## CAPÍTULO 3

### REDES Y EQUIPOS DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

#### 3.1 Redes de distribución de energía eléctrica

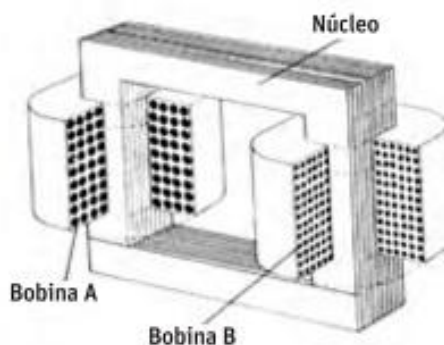
Las plantas de alimentos actualmente necesitan de redes de distribución de energía eléctrica para alimentar a los equipos de los procesos de producción. Las redes de energía eléctrica están compuestas generalmente de equipos de transformación, medición, protección y maniobra; los mismos que deben cumplir con normas y estándares internacionales en el diseño, construcción y puesta en marcha, para garantizar la disponibilidad, fiabilidad y seguridad. Es importante, además, que la instalación, mantenimiento y supervisión de las redes sean desarrolladas por personal especializado, competente y capacitado para evitar fallos que puedan ser detectados a tiempo y prevenir circunstancias que puedan originar daños en los equipos y demás actividades de los procesos de producción.

##### 3.1.1 Transformadores

Los transformadores son máquinas eléctricas estáticas que se utilizan para convertir voltajes ya sea reduciendo o aumentando la tensión, en la industria de alimentos es común encontrar las máquinas para reducir la tensión. En la figura 3.1 parte izquierda, se muestra la ubicación de los transformadores en el área denominada subestación y en la parte derecha se observa que se conforma por un núcleo de hierro, donde en cada lado se alojan las espiras de cobre o las llamadas bobinas. Las pérdidas en los transformadores es posible que se puedan generar en los espirales del cobre, la cual hace referencia a las pérdidas que se originan en los devanados al transitar la corriente, se dispone por el cuadrado de la corriente y la resistencia eléctrica de los devanados, estas pérdidas están enlazadas directamente con el factor de potencia; y en el entrehierro del núcleo las mismas que se producen en el núcleo ferromagnético, básicamente por dos factores por las corrientes parásitas que pasan por el núcleo y por la energía mínima de magnetización, son independientes de la cargabilidad y no varían del voltaje o la frecuencia, comúnmente los proveedores otorgan estos datos (Ramón A., 2011).

**Figura 3.1**

*Detalle de una subestación y componentes de un transformador*

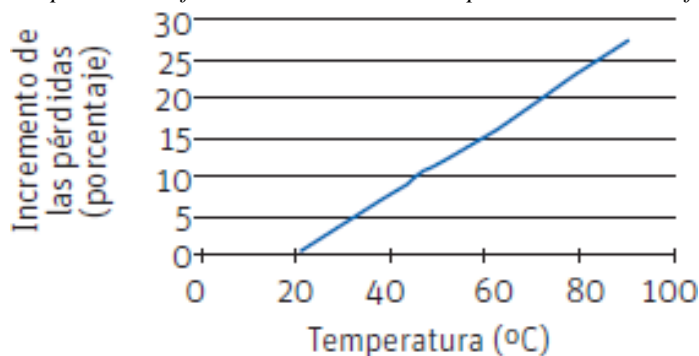


*Nota: Tomado de Evaluación para sistemas de bombeo de agua: Manual de eficiencia energética (p,31) por Ramón Rosas, 2011.*

Una condición que aumenta el nivel de pérdidas es la incapacidad de remover el calor que se encuentra en áreas de subestaciones donde operan las máquinas eléctricas de transformación, evidenciando elevadas temperaturas de funcionamiento por mala operatividad en los sistemas de enfriamiento. En la siguiente figura 3.2 se observa la temperatura en relación con el nivel de pérdidas es lineal y directamente proporcional, a medida que la temperatura incrementa, también se reflejara en las pérdidas.

**Figura 3.2**

*Temperatura en función del incremento de pérdidas de un transformador*



*Nota: En el gráfico se observa el porcentaje de incremento de pérdidas versus la temperatura. Tomado de Evaluación para sistemas de bombeo de agua: Manual de eficiencia energética (p,33) por Ramón Rosas, 2011.*

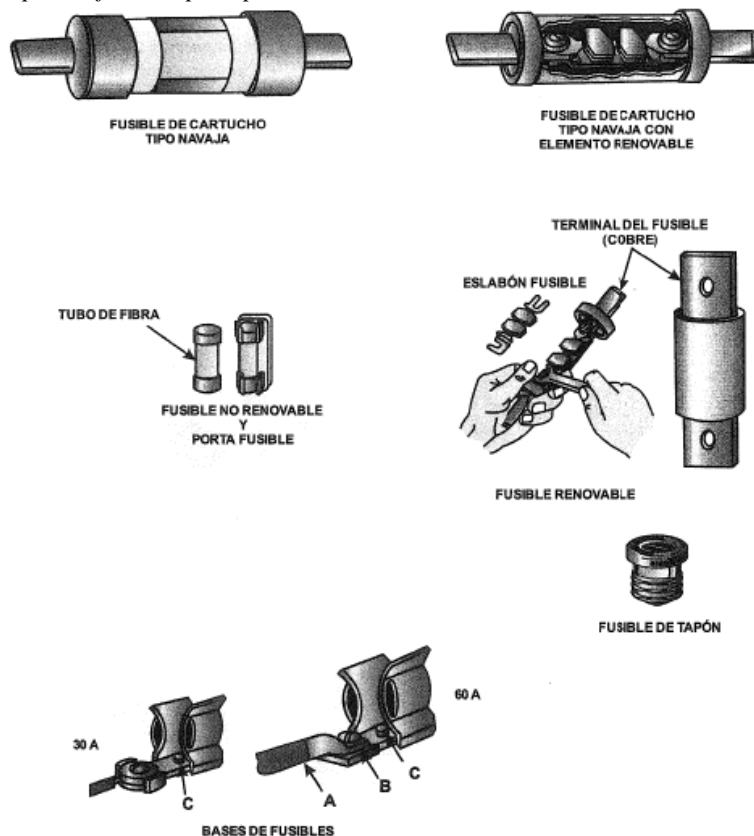
### 3.1.2 Elementos de protección

Usualmente para salvaguardar las redes y equipos contra sobre corrientes y cortocircuito, se utilizan elementos como los fusibles e interruptores, que fundamentalmente operan desconectado o abriendo los circuitos, evitando que la

corriente de falla supere a la de diseño en los conductores. Para las redes eléctricas industriales es indispensable ejecutar los cálculos de las corrientes de cortocircuito, por el motivo del dimensionamiento de los dispositivos que interrumpirán dichas corrientes, así como también para los elementos auxiliares de la red, como los apoyos, barras de distribución, gabinetes, etc. Los circuitos son propensos a las fallas de cortocircuito en cualquier situación de su sistema eléctrico, las instalaciones industriales de menor magnitud que por lo general se emplean dispositivos de protección de fusible e interruptores termomagnéticos, los mismos que deben funcionar abriendo los circuitos (Enríquez G., 2018). En la figura 3.3 se observa tipos de fusibles utilizados para protección contra cortocircuitos, son fabricados para operar en diferentes niveles de voltajes alterno tales como 13,8kV, 220V, o también en voltaje continuo como 12V o 24V, en la parte superior se muestran aquellos fusibles de cartucho que se utilizan en medio voltaje de tipo navaja y elemento renovable, en la parte inferior también es posible observar las bases donde se asientan los dispositivos para realizar el contacto.

**Figura 3.3**

*Tipos de fusibles para protección de circuitos eléctricos*

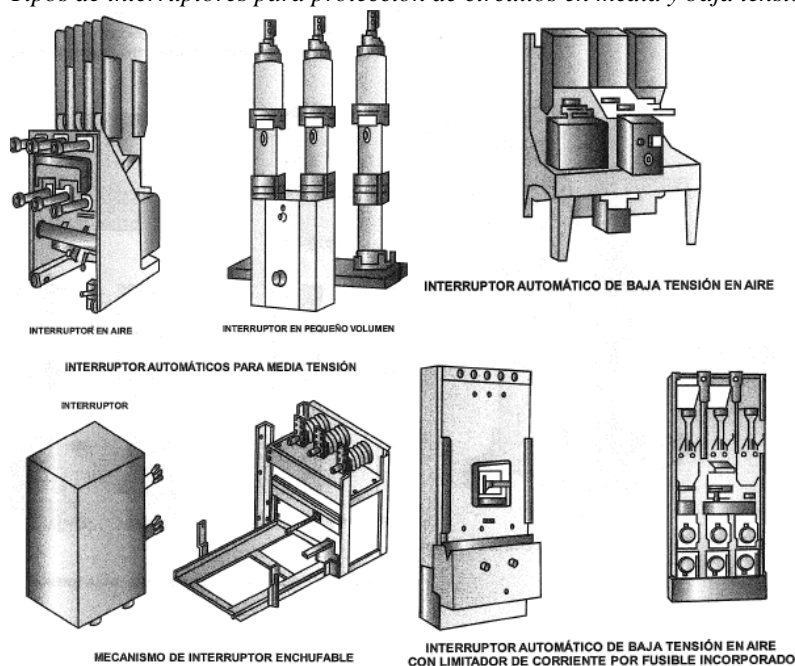


*Nota:* En el gráfico se observan tipos de fusible para diferentes aplicaciones de protección en circuitos eléctricos. Tomado de *El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales* (p,252) por Ramón Rosas, 2011, Editorial Limusa.

Uno de los requerimientos básicos de las redes eléctricas, en las diferentes instalaciones es la de suspender el servicio de energía en los circuitos, en común hay que seleccionar y diferenciar entre un seccionador e interruptor; seccionar se refiere a la abertura cuando la corriente no circula por el mismo, al contrario interrumpir se indica a la abertura cuando la corriente circula, dicho así se resume que un seccionador o cuchilla está en la capacidad de abrir los circuitos cuando están en vacío, mientras tanto los interruptores son elementos para abrir un circuito con carga (Enríquez G., 2018). En la figura 3.4 se muestran varios tipos de interruptores para la protección de las redes de distribución eléctrica en modelos de media y baja tensión; los interruptores de aire generalmente son los que cuando existe el corte el arco eléctrico se elimina a través del aire que hace de dieléctrico.

**Figura 3.4**

*Tipos de interruptores para protección de circuitos en media y baja tensión*



*Nota:* En el gráfico se observan tipos de interruptores para protección en redes eléctricas de media y baja tensión. Tomado de *El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales* (p,304-305) por Ramón Rosas, 2011, Editorial Limusa.

### 3.1.3 Instrumentos de medición

Se pueden encontrar una amplia gama de instrumentos de medición eléctricos, aunque las características de instalación, diseño, tamaño y funcionamiento son semejantes. Por lo general los instrumentos se conectan en los tableros para visualizar y controlar los parámetros de operación de las redes desde

el aspecto técnico y también del consumo de energía; la clasificación de los instrumentos de medición, los electromagnéticos son frecuentes, ya que bajo su principio de funcionamiento se fabrican amperímetros y voltímetros para corriente alterna.

Dependiendo de la unidad a medir los instrumentos toman su nombre, como por ejemplo los voltímetros miden voltaje (V) y los frecuencímetros miden frecuencia (Hertz) (Enríquez G, 2018). En la siguiente tabla 3.1, se observa la clasificación de las características de los instrumentos de medición por tipo electromagnéticos, electrodinámicos, térmicos, de inducción y digitales; entre los principios de funcionamiento que se encuentran por efecto magnético, inducción electromagnética, efectos térmicos, por circulación de la corriente en circuitos o modernos que operan con pulsos digitales

**Tabla 3.1**  
*Características de instrumentos de medición*

Características de instrumentos de medición			
Tipo de instrumento	Principio de funcionamiento	Nombre del instrumento que opera	Empleo común
Electromagnéticos	Acciones entre circuitos por circulación de corriente y efecto magnético	Amperímetro, Voltímetro, Óhmetro, Frecuencímetro	En corriente continua y corriente alterna
Electrodinámicos	Acciones entre circuitos por los que circula corriente	Amperímetro, Voltímetro, Wáttmetro, Óhmetro, Frecuencímetro	En corriente continua y corriente alterna
Térmicos	Efectos térmicos de corrientes que circulan por circuitos	Amperímetro, Voltímetro, Wáttmetro	En corriente continua y corriente alterna, son valores medidos
De inducción	Inducción electromagnética	Contadores	Sólo para corriente alterna
Digitales	Pulsos digitales obtenidos por las cantidades reales por transformación	Amperímetro, Voltímetro, Óhmetro	Para corriente continua y para corriente alterna

*Nota:* En el gráfico se observan tipos de fusible para diferentes aplicaciones de protección en circuitos eléctricos. *Tomado de El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales* (p.323) por Ramón Rosas, 2011, Editorial Limusa.

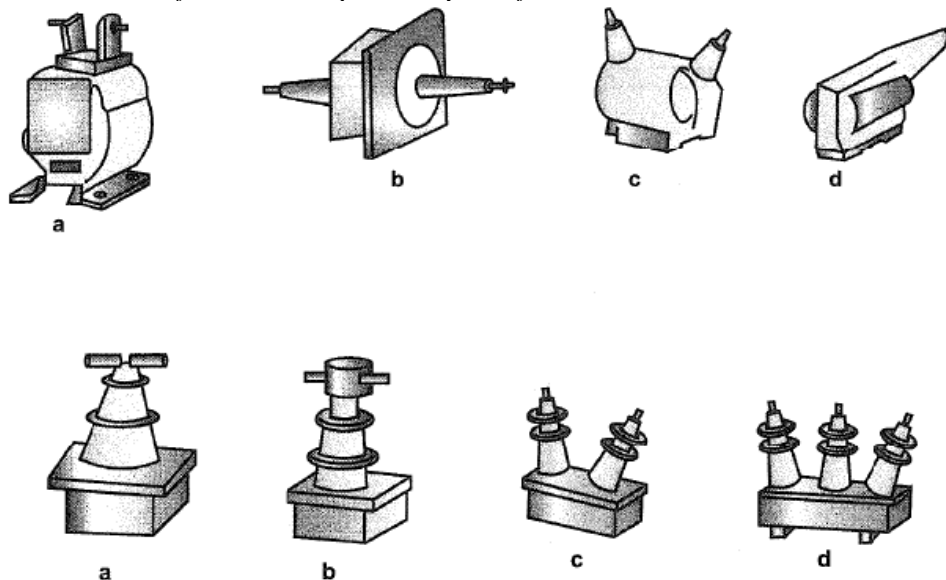


En el ámbito industrial de las mediciones, es indispensable la utilización de transformadores de medición o también llamados transformadores reductores, existen dos tipos muy conocidos los transformadores de potencial (TP) y los transformadores de corriente (TC), se aplican cuando las magnitudes de voltaje y corriente son elevadas o presentan ciertos riesgos conectarlos a los circuitos a los cuales se desea obtener los datos. Los transformadores de corriente se componen de un circuito primario en donde circula la corriente a ser medida, y un circuito secundario donde también circula una corriente, que resulta la corriente del primario, a una transformación de relación correctamente definida; comúnmente en el secundario las corrientes están entre 5A y 1A, por mayor que sea el valor en el primario, el amperímetro indicará la corriente a la relación adecuada.

Los transformadores de potencial son cruciales en las mediciones de tensión en media y alta, con la función de estos transformadores, se disminuyen los riesgos para el personal y se reduce el valor de las tensiones a tierra (Enríquez G., 2018). En la figura 3.5 se muestra en la primera fila desde el literal "a" hasta el literal "d" los tipos de transformadores de corriente que son común instalados en las redes para medir la corriente, y en la segunda fila desde el literal a al d los transformadores de potenciales utilizados para medir tensión o voltaje.

**Figura 3.5**

*Modelos de transformadores de potencial y transformadores de corriente*



*Nota:* En el gráfico se observan tipos de TC y TP utilizados como medidores de parámetros eléctricos como amperaje y tensión. Tomado de *El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales* (p.304-305) por Ramón Rosas, 2011, Editorial Limusa.

### 3.1.4 Compensación de la energía reactiva

La energía activa es aquella que transforma la energía eléctrica en trabajo mecánico y calor, mediante la utilización de máquinas, varias requieren campos magnéticos para su operación como los motores y transformadores, los mismos que consumen energía llamada reactiva. Este manejo entre la red y el destinatario ocasiona pérdidas en los conductores, caídas de voltaje y crecimiento del consumo de energía complementaria, la cual no es optimizada de primera mano por los equipos. Integrando a la instalación bancos de condensadores es posible la compensación de esta energía reactiva.

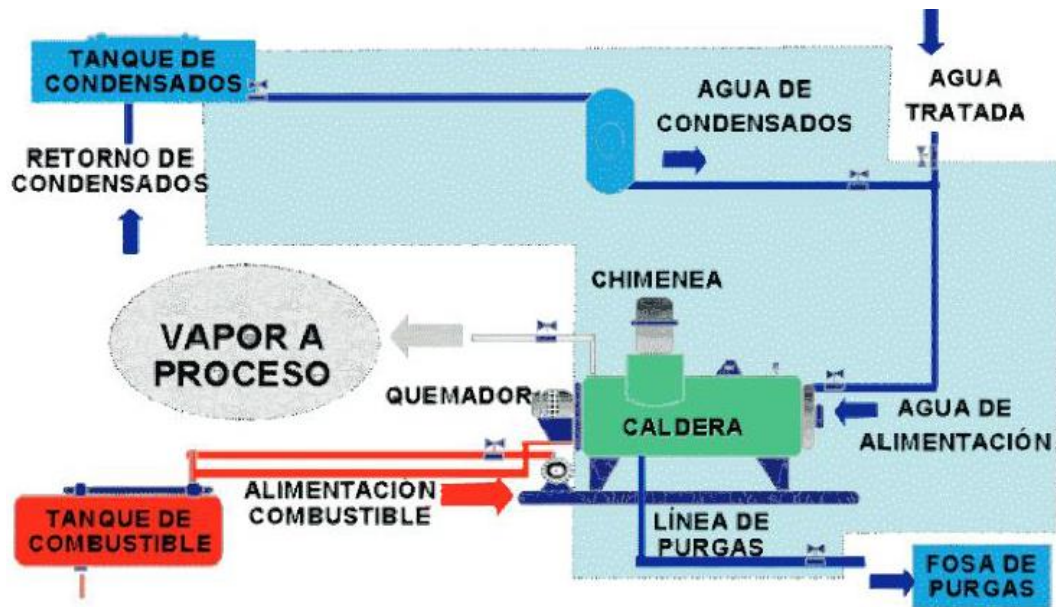
(Navarro J. & Molés F., 2015) plantea que las ventajas de la “*compensación de la energía reactiva son la reducción del importe del recibo eléctrico, aumento de la potencia disponible, reducción de la sección de los cables eléctricos, reducción de las caídas de tensión y disminución de pérdidas energéticas*”, la importancia de la compensación impacta positivamente en la red de distribución de energía eléctrica, fortaleciendo la capacidad del sistema y reduciendo de manera considerable las pérdidas que se originan a causa de no tomar las acciones necesarias para mejorar, entre las ventajas están el aumento de capacidad de fuentes como transformadores y cables de distribución

### 3.2 Redes de generación y distribución de vapor

El vapor se ha convertido en un importante medio de transferencia de calor en las industrias, en las plantas de alimentos por lo general es realmente útil para cocción o para secado de los productos, por lo que es indispensable tener en cuenta la eficiencia de generación, la distribución óptima y los controles periódicos, ya que las condiciones de operación de los dispositivos impactan directamente en los costes de los procesos de producción. En la figura 3.6 se evidencia como están compuestas básicamente las redes de generación y distribución de vapor, que comienza con el ingreso de agua tratada al caldero o el hogar que es donde ocurre la transformación de fase del agua de líquida a vapor y por medio de conductos y estanques se distribuye el vapor y se recolecta el retorno en forma de condensados (Proaño P., 2018).

Figura 3.6

Redes de generación y distribución de vapor



Nota: En el gráfico se observa un Redes de generación y distribución de vapor. Tomado de *Sistema integrado de eficiencia energética para optimizar los procesos de producción en la industria láctea*. (p,43) por Proaño López, 2018, Universidad Técnica de Ambato.

### 3.2.1 Sistema de alimentación y tratamiento de agua

La alimentación y tratamiento de agua utilizada para una caldera, es aquel sistema constituido por bombas, tuberías y accesorios, adecuado para el abastecimiento y suministro de agua con ciertas condiciones específicas de calidad al hogar. Actualmente existen métodos sofisticados para mejorar la calidad del agua, ya que, la misma está directamente asociada a la vida útil del caldero, la deficiencia en los procedimientos y en el entorno del agua puede desencadenar en probables riesgos de la inversión y la seguridad del área, además que los resultados son mayores consumos de insumos como el combustible, agua y productos químicos (Arce M., 2019).

La naturaleza del agua comprende en mayor o menor cantidad sustancias disueltas, específicamente sólidos como sodio, calcio, magnesio y hierro; y también algunos gases como oxígeno y dióxido de carbono, se permite que las impurezas ingresen al hogar, es posible efectos como incrustaciones, corrosiones y sedimentaciones reduciendo la eficiencia de la red de vapor (Arce M., 2019).

### 3.2.2 Quemadores

Los quemadores son elementos primordiales de las calderas, es el lugar donde se realiza las reacciones químicas del aire con el combustible, para convertirse en calor (Proaño P., 2018). Además, el quemador tiene como función la regulación en el encendido de la caldera. En el quemador comienza la secuencia lógica de funcionamiento del caldero, en el momento que se suministra energía al mecanismo, se activa el ventilador de pre barrido cuando detecta llama el controlador activa la alarma, a continuación del pre barrido activa la señal para la ignición y posterior a esto se activan los solenoides de ingreso de combustible (Gómez J., Ramírez C., & Álvarez M., 2018).

En la figura 3.7, se observa el modelo de un quemador para una caldera pirotubular, se aprecia los dispositivos y elementos que lo conforman, principalmente por el ventilador, el mismo que se encarga del ingreso del oxígeno necesario para producir los gases de combustión a través del ingreso de combustible por cañerías que deben soportar hasta 300 psi de presión. Es importante que el quemador presente buenas condiciones para la operación, por lo general se programa un plan de mantenimiento donde incluye tareas de inspección y limpieza con rutinas periódicas diarias, mensuales y anuales.

**Figura 3.7**

*Modelo de quemador de un caldero*



*Nota:* En el gráfico se observa un modelo de quemador para una caldera pirotubular. Tomado de *Estudio de eficiencia energética de red de vapor planta guayabal de Postobón S.A.* (p,17) por Gómez Gallego, Ramírez Suaza, & Álvarez Velásquez, 2018, Instituto Tecnológico Metropolitano.

### 3.2.3 Hogar de la caldera

El hogar de la caldera es el lugar, en el cual comienza la conversión del agua en estado de saturación a vapor y de igual forma donde culmina de efectuar el proceso de combustión iniciado en el quemador, otorgando el calor del combustible (Proaño López, 2018). Existen principalmente dos tipos de calderas las piro tubulares que son las que el vapor circula por los tubos y las acu tubulares que son las mismas donde el agua circula por los tubos.

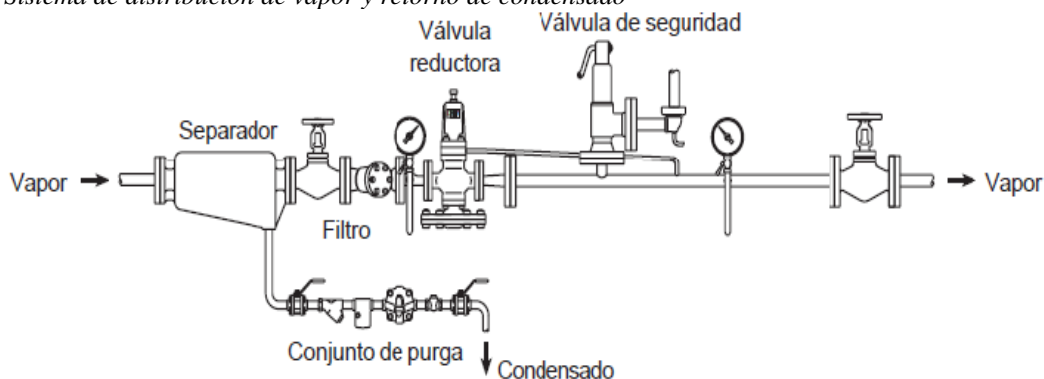
### 3.2.4 Sistemas de distribución de vapor y retornos de condensados

Luego de la generación o producción del vapor, es importante la ingeniería en la transportación y distribución a los diferentes puntos de consumo o aplicaciones del proceso donde se necesite el recurso. Los sistemas de distribución y recolección, retornos de condensado, que de igual manera están conformadas por una serie de accesorios como tuberías, codos, válvulas y trampas de condensado. Regularmente los accesorios utilizados en las redes de vapor son fabricados de acero, los mismos que deben dimensionarse acorde al flujo, presión y temperatura que circula por ellas, de lo contrario es posible que una selección dificultosa ocasione pérdidas de energía y averías en los accesorios del sistema. Por regla general la velocidad media del vapor y el condensado no debe exceder los 50 m/s y 5 m/s respectivamente (Arce Sanchez, 2019).

En la figura 3.8, se observa el diagrama del cuadro de vapor y las componentes utilizadas para distribución y retorno de condensados para el punto en específico del proceso de producción de alimentos. Al inicio del ingreso del vapor se encuentra instalado un separador, el cual tiene como función recolectar las gotas de agua y arrastrarlas hacia el conjunto de purga que consta principalmente de una trampa que separa el gas del agua, con la finalidad de mejorar la calidad del vapor, posteriormente al separador se ubica el filtro y un instrumento de medición llamado manómetro para medir la presión de la línea antes de la válvula reguladora, posteriormente se conecta la válvula de seguridad para prevenir sobrepresiones en el sistema, a continuación nuevamente se instalada un segundo manómetro para verificar que la presión ha sido reducida.

**Figura 3.8**

*Sistema de distribución de vapor y retorno de condensado*



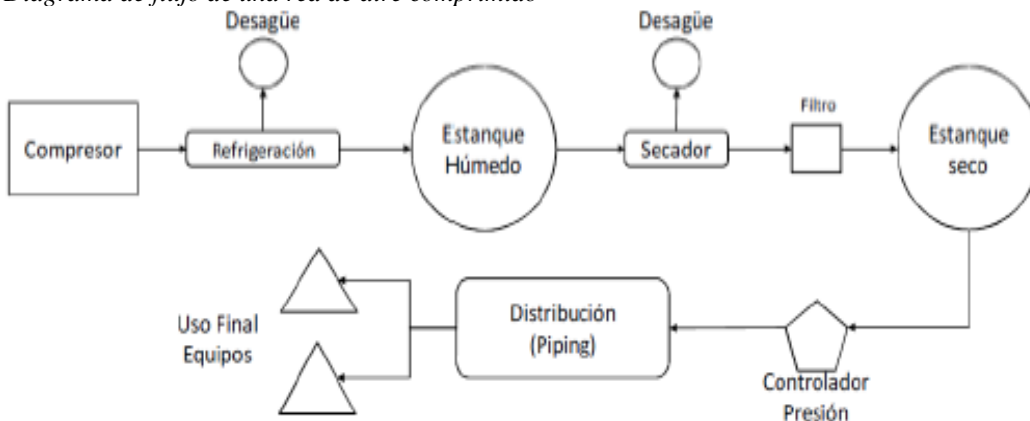
*Nota:* Tomado de *Diagnóstico del desempeño energético del sistema de generación y distribución de vapor y retorno de condensado de la clínica Foscal*. (p,22) por Arce Sánchez, 2019, Universidad Autónoma de Bucaramanga.

### 3.3 Redes de aire comprimido

Las redes de aire comprimido constituyen otro importante recurso energético en los procesos de producción de una planta de alimentos, ya que es funcional y tiene la posibilidad que sea aplicado en algunos sistemas, desde accionamientos mecánicos, limpieza de mangas, uso de herramientas, etc. En la figura 3.9 se muestra, que en el sistema inicia el suministro de aire en el compresor, dependiendo de las circunstancias y condiciones ambientales, el aire es refrigerado para luego ser almacenado en un estanque, para que el aire sea seco se lo circula por el secador para que posteriormente sea almacenado en un nuevo estanque que a partir del recipiente se distribuye a los diferentes usos finales en los equipos y elementos de los procesos de alimentos (Palacios Espinoza, 2019).

**Figura 3.9**

*Diagrama de flujo de una red de aire comprimido*



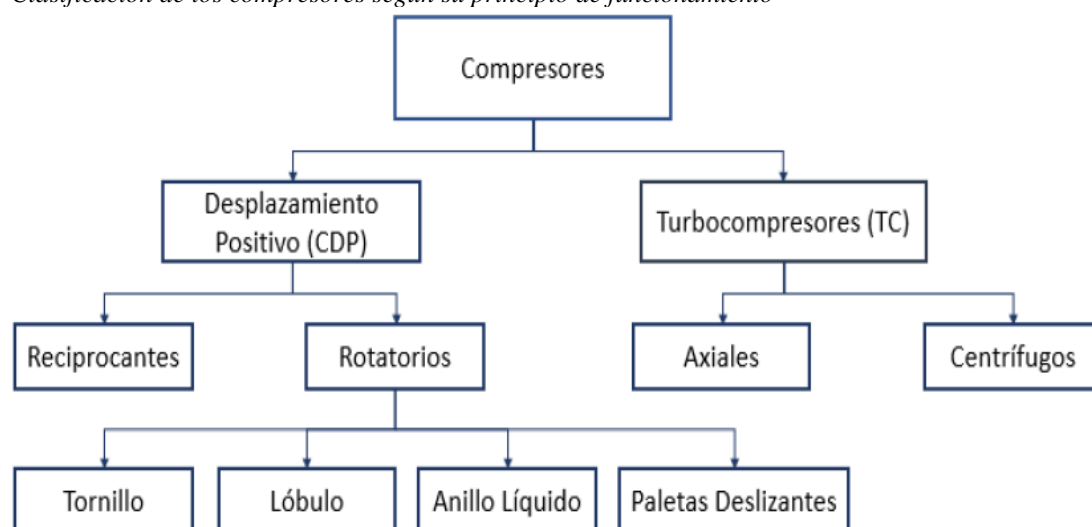
*Nota:* En el gráfico se observan las diferentes componentes y elementos básicos de una red de aire comprimido para una industria. Tomado *Análisis de eficiencia energética en sistemas de aire comprimido para industrias*. (p,6) por Palacios Espinoza, 2019, Universidad de Chile.

### 3.3.1 Compresor

Bobadilla (2019) define a un compresor como “*máquinas impulsoras de aire, gases o vapores, que ejercen influencia sobre las condiciones de presión. Se montan en salas especialmente acondicionadas, aunque el uso cada vez más frecuente de compresores sofisticados y silenciosos da mayor flexibilidad a la instalación. Los propios compresores integran refrigeradores para el aire comprimido y para el aceite refrigerador de la cámara de compresión*” (p. 26). Básicamente se basa en aumentar la presión de un fluido, opuesto a otras máquinas, el compresor sube la presión de los fluidos compresibles como los gases o también se puede interpretar que el compresor es una máquina que aumenta la presión de un fluido compresible, la cual a su vez reduce su volumen específico.

En la siguiente figura 3.10 se evidencia las dos clasificaciones más importantes de los compresores industriales: compresores dinámicos y compresores de desplazamiento positivo (Palacios J., 2019). Dentro de los compresores dinámicos se encuentra aquellos que por la funcionalidad son reciprocantes y rotatorios; entre los rotatorios se pueden observar varios de los compresores comunes en una planta de alimentos como los de tornillo, lóbulo o paletas deslizantes y otros que no son comunes como los de anillo líquido. Los turbocompresores se dividen en dos tipos principalmente, en los axiales y en los centrífugos.

**Figura 3.10**  
Clasificación de los compresores según su principio de funcionamiento



Nota: Tomado *Análisis de eficiencia energética en sistemas de aire comprimido para industrias*. (p.6) por Palacios Espinoza, 2019, Universidad de Chile.

### 3.3.2 Estanques

Son recipientes o tanques donde se almacena el aire comprimido, tienen como objetivo conservar la calidad, eficiencia y seguridad del sistema; son instalados y ubicados en la red de aire comprimido, puede ser para estanque húmedo, el cual realiza la función de mejorar el drenaje o purga del condensado; también puede montarse a la salida de los secadores o filtros, para optimizar la red de distribución. Las principales ventajas de usar estanques son: prevenir golpes de ariete, suministrar el aire comprimido constantemente y estabilizarlo de los cambios de demanda, disminuir el encendido/apagado del compresor y los cambios de presión de la red (Palacios J., 2019).

### 3.3.3 Secador de aire comprimido

Los secadores de aire tienen como finalidad apartar la humedad hasta alcanzar los rangos esperados, en general son instalados en serie al compresor o en ocasiones se conectan luego del estanque húmedo. Se conocen tres clases de secadores: refrigerantes, regenerativos y de membranas:

*Refrigerantes:* Para refrigerar y condensar la humedad del aire usan fluidos. Se sugieren para puntos de rocío mayores a 2°C y se forman de dos tipos no cíclicos y los cíclicos.

*Regenerativos:* Utilizan materiales con pequeños orificios que periódicamente deben ser cambiados, para entregar una calidad del aire suele caerse la presión.

*Membrana:* Para apartar el vapor del aire se emplean filtros de membranas semipermeables (Palacios J., 2019).

### 3.3.4 Sistemas de evacuación de condensado

Los sistemas de evacuación son drenajes que facilita el retiro del condensado de los estanques y los dispositivos neumáticos, por medio de secadores o purgadores. Normalmente en los sistemas manuales son dependientes de la operación humana con válvulas de paso rápido; otro método son los purgadores con flotador el cual trabajan a un determinado nivel activando la abertura de la válvula mecánica para drenar el condensado; las últimas tendencias modernas para realizar la evacuación utilizan



válvulas automáticas temporizadas o por medio de controladores que determinan cada cierto tiempo la abertura y cierre (Palacios J., 2019).

### **3.2 Equipos de procesamiento de alimentos**

En el procesamiento de alimentos, el desarrollo de equipos y nuevas tecnologías está en continuo avance, debido a la exigencia de normativas y estándares, las compañías buscan ser competitivas y contar con los mejores productos del mercado; es por ello, que hoy en día una planta de alimentos está compuesta por varios equipos que cumplen una función específica en cada subproceso de producción. Para la transportación de la materia prima o harinas, se utilizan diferentes esquemas como tornillos helicoidales, o transportadores de cadena, compuestos de aletas de nailon; o su vez otro tipo, es aquel, elevador transportador que se compone de una banda en la cual se sujetan diferentes cangilones que son los cargan el producto y lo entregan a diferentes procesos. Para minimizar las partículas especialmente los granos son fundamentales los molinos, que también existen de diferentes tipos acorde a las necesidades; para aglomerar las harinas o demás ingredientes se utilizan mezcladoras, que tienen la capacidad de hacer una gran masa, los equipos con mayor importancia se van a describir a continuación.

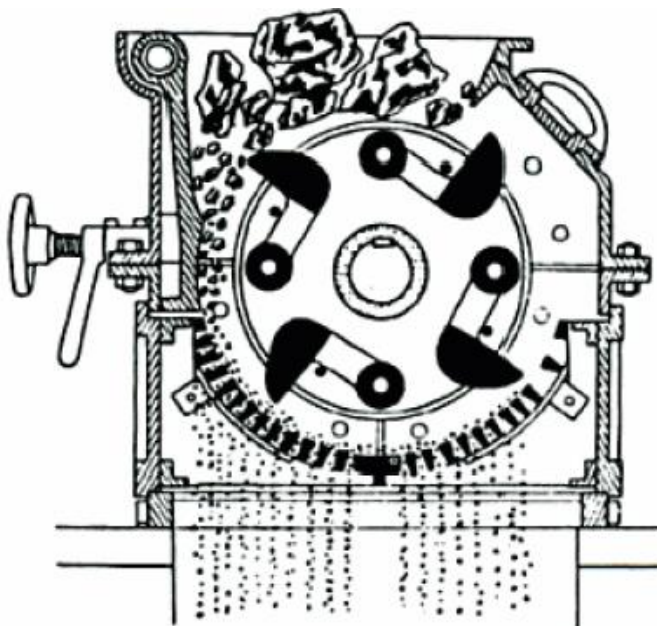
#### **3.2.1 Molino de martillos**

Este modelo de molino es de eje horizontal y está compuesto por un blindaje cilíndrico, en el cual, en la interior gira un rotor a alta velocidad provocando energía cinética que se pierde en el material dando como resultado la desintegración; desde la parte superior de la estructura cae el material fraccionado hacia el tambor. Las partículas se desintegran por el impacto de los martillos y se muele al atravesar por una angosta abertura entre los martillos y la carcasa, finalmente, los granos cruzan por una criba o malla en la zona de descarga, en la figura 3.11, se observan las características de lo descrito anteriormente, la composición y el funcionamiento del molino de martillos (Chacón F., 2015). El molino de martillos es el equipo más empleado para reducción de partículas en las plantas de alimentos, ya que con una granulometría entre 0,75mm y 1 mm se adquiere una mejor distribución de cada uno

de los ingredientes en la formula produciendo que la asimilación de los consumidores sea más eficiente. Otro tipo de molino que plantas de alimentos emplean para mejorar su granulometría son los pulverizadores, que tienen el mismo funcionamiento reducir la partícula bajo impacto de martillos, el diseño es el que marca la diferencia.

**Figura 3.11**

*Molino de Martillos*



*Nota:* En el gráfico se observa un molino de martillos. Tomado de *Evaluación energética en una planta de alimentos balanceados para animales* (p,26) por Chacón Cordero, 2015, Universidad de Costa Rica.

### 3.2.1 Mezcladora

Son equipos que generalmente se usan para homogenizar las materias primas dosificadas, durante periodos de tiempos establecidos, en las plantas de alimentos se encuentran dos tipos de mezcladoras: horizontales y verticales. El diseño de las mezcladoras horizontales está compuesto por una o dos cintas que remueven el material a diferentes lados, entre las ventajas es que necesita de menores tiempos de mezclado, y las desventajas es que son costosas y requieren rendimientos y áreas mayores. Por el contrario, las mezcladoras verticales se utilizan en plantas de menor magnitud, su funcionamiento está básicamente en uno o dos tornillos sinfín helicoidales que trasladan el material hacia la parte superior combinando los ingredientes (Chacón F., 2015).

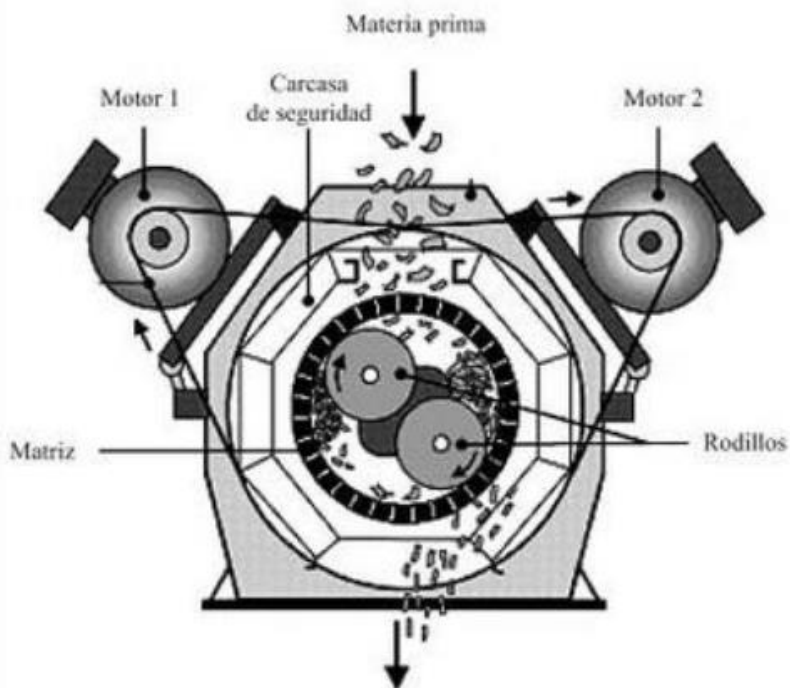
### 3.2.1 Equipos de Peletizado

En las industrias se utilizan para la fabricación de pellets las llamadas prensas peletizadoras, las cuales, se conforman básicamente por un alimentador o tornillo helicoidal, rodillos, dados y estructura, también contienen un premezclador o conocido como acondicionador, el mismo, que tiene la capacidad de añadir diferentes fluidos como agua, vapor, aceites, para aglutinar la mezcla y la cocción. Cuando el material entra a la presa, se comprime por medio de los rodillos, atravesando orificios y al final cortando con cuchillas, dando formas cilíndricas conocidas como pellets.

En la figura 3.12 se representa, el diseño de la peletizadora de tipo matriz anular con todas sus partes y elementos de operación, está compuesta con dos motores eléctricos que mediante un sistema de transmisión por bandas hace rotar a la matriz, que contiene el dado, la misma rotación que en un sentido contrario, giran los rodillos creando la compresión de la mezcla cocinada en el acondicionador, obteniendo pequeños gránulos cilíndricos llamados piensos o pelets.

**Figura 3.12**

*Equipo de peletizado y las componentes*



*Nota:* En el gráfico se muestra un equipo de peletizado con las componentes de operación. Tomado de *Evaluación energética en una planta de alimentos balanceados para animales* (p,28) por Chacón Cordero, 2015, Universidad de Costa Rica.

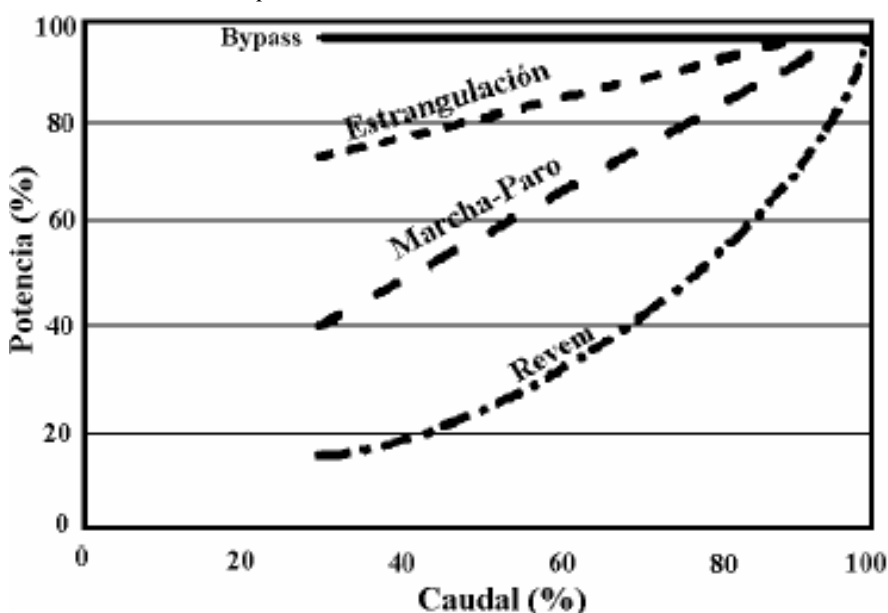
### 3.2.1 Bombas

Las bombas son equipos frecuentemente usados en la trasportación de fluidos, para aquello, existen varios tipos de funcionamiento para controlar estos flujos, una de las opciones más empleados es mediante válvulas de estrangulamiento, sin embargo, en la actualidad el avance de la electrónica ha permitido efectuar estos controles por medio de variaciones de velocidad, mostrando resultados energéticos eficaces. Desde la visión de mantenimiento, un buen sistema de regulación previene golpes de ariete, ofrece arranques y frenados suaves, reduciendo altos niveles de corriente; también factores importantes como maniobras pueden ser automáticos, mejorando la seguridad y la vida útil del equipo. (Libera J., 2016).

En la siguiente figura 3.13, se observan diferentes opciones de control del caudal de las bombas, las mismas que son mediante la estrangulación, marcha – paro y control de la velocidad, en la gráfica del % de potencia versus el % de caudal, se evidencia cuáles son los puntos de operación a diferentes porcentajes con los diferentes métodos, el control de velocidad es una alternativa para disminuir la potencia obteniendo los mismos caudales.

**Figura 3.13**

*Métodos de control empleados en el bombeo*



*Nota:* Tomado de *Procedimiento para evaluar la eficiencia de los sistemas de control automático utilizados en los centrales azucareros* (pag.43), por Libera Hechavarría, 2016, Universidad de Camagüey.

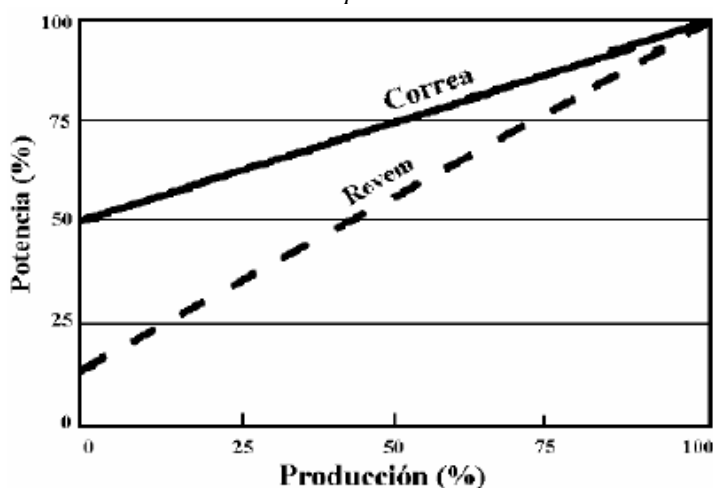
### 3.2.2 Transportadores de material

La principal utilización de este equipo es transferir las materias primas y mezclas a través de los procesos de producción de manera automática. Los transportadores existen para diferentes necesidades de aplicación, como, por ejemplo: cangilones, paletas o de tornillo sinfín. La ventaja de emplear estos equipos es que facilitan la intervención, disminuyendo la participación humana, otorgando un ritmo planteado de operación. Los transportadores de tipo cangilones funcionan de modo vertical y son comunes donde se requiere que el producto se eleve a un recipiente, se compone de una banda en la cual se posicionan los cangilones y el recorrido sin fin entre un cabezal superior e inferior. Los transportador tipo cadena operan de manera horizontal, en ocasiones con una leve inclinación para materiales granulares.

(Libera J., 2016) cita a los transportadores *“que funciona con carga variable presentan variaciones en la demanda de potencia. Si se mantiene la velocidad, entre el 100% de potencia a plena carga y aproximadamente el 50% en vacío, se ahorra un 50% de energía. Esta potencia de vacío, y en general, la potencia a cargas intermedias se puede reducir significativamente”*. Se deduce entonces que, cuando el transportador esté en condiciones de vacío es posible reducir la velocidad a valores menores que la mitad, disminuyendo así las pérdidas en un 50%. Se debe procurar que el transportador se ajuste a la producción, adecuando su velocidad para que la carga sea continuamente el 100%, para tal observación es necesario instalar variadores de frecuencia en el motor eléctrico, permitiendo la variación de la velocidad del transportador.

En la figura 3.14, se observa la gráfica métodos de control de los transportadores, en función del porcentaje de la potencia y el porcentaje de la producción, muestra que cuando los equipos transportadores tienen diferencias en cuanto a la operación cuando es con sistemas de transmisión por correa o por variación de velocidad mediante el control del motor con variación de frecuencia, si el porcentaje de producción es bajo, es posible variar la velocidad, de tal forma que también se reduce la potencia necesaria, obteniendo mayor eficiencia en los procesos de producción.

**Figura 3.14**  
Métodos de control de los transportadores



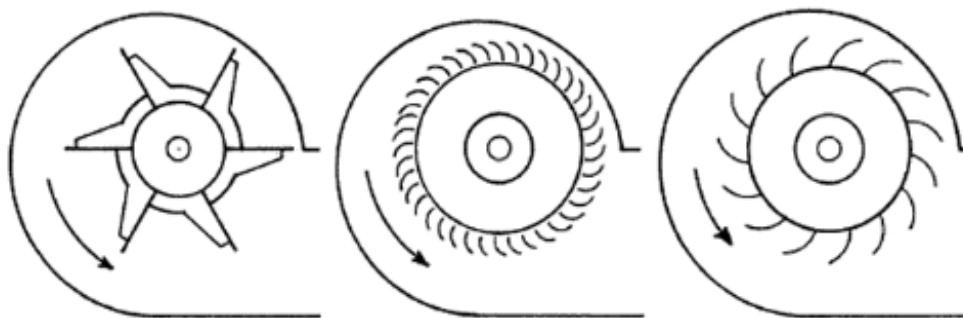
Nota: Tomado de *Procedimiento para evaluar la eficiencia de los sistemas de control automático utilizados en los centrales azucareros* (pag.49), por Libera Hechavarría, 2016, Universidad de Camagüey.

### 3.2.3 Ventiladores

Los ventiladores son equipos giratorios que tienen la posibilidad de desplazar en concreto caudal de aire, suministran presión autosuficiente para ganar pérdidas de carga que se originan en la circulación de los ductos, a diferencia de los sopladores o los compresores que elevan presiones mayores los ventiladores aumentan la presión hasta alrededor de 1.5 psi; hay dos grandes grupos en los que se clasifican los ventiladores y son los axiales y centrífugos. Para la selección de los ventiladores hay que tener en cuenta, especificaciones técnicas tanto de las curvas del fabricante como también la aplicación de operación, caudal demandado y la caída de presión del sistema (Cando V, 2015).

(Williams B. & Gracey D., 1996) describen "*ventiladores centrífugos son radiales y planas. Propulsan el aire hacia adelante por acción centrífuga. El aire entra al centro del propulsor en medio de cubierta, sufre un giro de 90° y sale a través de una abertura tangencial*". En concreto los ventiladores centrífugos es un artefacto integrado por un rodete de aletas que giran dentro de una voluta, esta da vueltas mediante un motor eléctrico, teniendo como fin dar dinámica al aire o cualquier gas. En la figura 3.15 se observan tres ventiladores centrífugos con diferentes formas de aspas o alabes, las cuales tienen la capacidad de mover el aire, para diferentes aplicaciones en los diferentes campos de la industria de alimentos como elevadores neumáticos, quemadores o enfriadores.

**Figura 3.15**  
*Formas de las aspas en ventiladores centrífugos*



*Nota:* De izquierda a derecha paletas planas, curvadas hacia adelante, curvadas hacia atrás. Tomado *Mantenimiento y funcionamiento de silos* (pag,79), por Williams, David B; Gracey, Alfred D, 1996.

### 3.3 Mantenimiento de redes y equipos de procesamiento de alimentos

Para lograr mayor eficiencia energética o productiva en el desempeño de las redes y los equipos que se utilizan para el procesamiento de alimentos, son fundamentales realizar diferentes actividades de conservación y mantenimiento. Las condiciones en que los procesos de producción se efectúan, son generalmente donde existe mucha polución y desgaste por el continuo trabajo, esto causa que las redes y equipos perduran sucias, originando problemas y fallas que afectan directamente en la eficiencia y calidad de los productos que se elaboran en los procesos de producción (García G., 2018). El plan y los cronogramas de mantenimiento son diseñados por el jefe responsable del mantenimiento en la planta de alimentos, los mismos que deben ser estructurados conforme a los requerimientos y necesidades de los procesos de producción, proporcionando el funcionamiento de la disponibilidad seguridad y confiabilidad.

Otro de los factores importantes en el mantenimiento de las redes y equipos de procesamiento de alimentos, es la monitorización del cumplimiento del plan, ya que a medida de la implementación surgirán ideas nuevas para mejorar continuamente los procesos. Las tareas o actividades de mantenimiento deben ser comunicadas al personal de producción para prevenir eventualidades no deseadas que puedan impactar en la programación de la producción, entre las ventajas de estas buenas prácticas esta la disminución de tiempos promedio de reparación de máquina, costos del ciclo de vida de la máquina, costos de reparación; además aumentar el periodo entre fallas, la

operación de los equipos y mejorar la calidad del equipo y los productos (Lindao R., 2016).

### **3.3.1 Limpieza de redes y equipos**

Entre las actividades de mantenimiento generales, que se realizan a las redes y equipos se encuentra la limpieza, es importante plantear que las áreas donde están los procesos de producción la limpieza sea diariamente por todos los niveles. La mezcladora es un equipo que por cierto grado de valor, se debe priorizar las tareas de limpieza, creando una lista de comprobación para que el responsable de las operaciones de la mezcladora sea quien las ejecute. Otro factor imprescindible está en la limpieza de los filtros, componentes que son instalados en diferentes sistemas, ya sea de aire comprimido, como también en sistemas de almacenamiento de líquidos y demás procesos de producción y que asegurando la ejecución de las tareas aumentan el rendimiento y la eficiencia de los equipos (García G., 2018).

### **3.3.2 Lubricación**

La segunda etapa del mantenimiento en equipos es la lubricación, esencial para reducir correctivos ruidos extraños, paradas imprevistas o recalentamiento en motores; de esta manera es posible alargar la vida útil de las máquinas. Los equipos no solo se componen de motores, sino además de chumaceras y ejes de transferencia mecánica, el ambiente seco y completo de polvo crea que la grasa cambie las propiedades y no actúe de forma oportuna, es por aquello que la lubricación es realiza en periodos de no menos de una semana, en los equipos como molinos, peletizadoras, transportadores y motores eléctricos (García G., 2018).

### **3.3.3 Inspecciones y revisiones**

En el mantenimiento preventivo se ejecutan inspecciones y revisiones a las redes industriales y a los equipos de procesamiento de alimentos, están compuestas de la experiencia de cada operario y está relacionado a la búsqueda de posibles fallos, mediante el empleo de la parte sensorial del ser humano. Algunas de los posibles fallos que se pueden detectar son fugas tanto internas como externas, ruidos extraños, exceso



de temperaturas de trabajo y olores anormales, etc. La ventaja principal es que las inspecciones y revisiones en los equipos se realizan en cualquier horario, sin embargo, se debe establecer un periodo de frecuencia y adjuntado a una lista de comprobación para el registro de las novedades que se suscitan o se evidencian y así tomar decisiones a tiempo (García G, 2018).

### **3.3.4 Ajustes**

Implementadas las actividades primordiales del mantenimiento, se continúa con el entrenamiento y capacitación del personal que las va a realizar. La meta es que el personal operativo tenga la capacidad de actuar en el momento y se reduzcan los tiempos de espera para los procesos de producción. Los ajustes suelen realizarse fundamentalmente cuando las especificaciones de los productos cambian o se requieren realizar pruebas para mejorar la calidad. Los ajustes de equipos pueden ser físicos como el movimiento de cuchillas, sensores de proximidad, válvulas, etc., o también digitales como parámetros o sets de trabajo en pantallas hombre – máquina (García G, 2018).

## CAPÍTULO 4

### EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

#### 4.1 Eficiencia energética en industria alimentaria

Las plantas de alimentos a lo largo de su cadena de valor conllevan a una transformación de energía, la misma que se emplean para diferentes recursos tales como de materias primas, energéticos y humanos, estos productos resultados de las conversiones generan desperdicios de materia y energía; es por ello por lo que la estrategia gerencial está dirigida a optimizar los costos de los insumos o recursos que se usan para generar la transformación de alimentos. Los costos en especial los energéticos, en los últimos años se ha evidenciado los incrementos, afectando a su vez que los precios de los alimentos aumenten (Vega J, 2018). Establecer los indicadores de desempeño, como los valores medios y óptimos en una instalación es un problema común, y la industria de alimentos no es la excepción. Se han publicado varios ejemplos de indicadores de desempeño en relación con las instalaciones eléctricas, la cual son de suma importante para evaluar la eficiencia energética. (Porrás C., Ruiz F., García J., & Fuentes J., 2019).

#### 4.2 Eficiencia energética en redes industriales

El avance y la modernización de plantas de alimentos, sin duda ha mejorado los desempeños de producción, sin embargo, aún existen grandes oportunidades de ahorro de energía, que no se han ejecutado por empresarios, por las posibles condiciones técnicas e institucionales a las que están sometidos y la apreciación de que los resultados son pocos significativos de los costos energéticos. Para garantizar que las condiciones de producción sean competentes y adecuadas, es necesario el estudio a través de auditorías energéticas para tener el pleno conocimiento y estado general del correcto funcionamiento de las instalaciones. Implementando criterios en eficiencia energética en los procesos de producción es viable desde invertir poco a bastante dinero, sin duda cualquiera que fuera la inversión los retornos se recuperan

en plazos cortos de tiempo, permitiendo la mejora de la eficiencia energética (Vega J., 2018).

#### 4.2.1 Tarifas de energía eléctrica

Enríquez Harper, 2018 describe que las tarifas eléctricas son “*el conjunto de tarifas aplicables a las componentes de consumo de energía eléctrica y/o demanda de potencia activa, de acuerdo con la modalidad de suministro*”, las tarifas son reguladas por un ente gubernamental que realizan los estudios y establece los pliegos tarifarios para diferentes tipos de consumidores. En la industria es conocida el sistema tarifario horario, el mismo que comprende de tarifas diferenciales de consumo eléctrico y de la demanda de la potencia en periodos de horas. En la tabla 4.1 se muestran los diferentes tarifas horarias y el correspondiente costo según el pliego tarifario emitido por el ARCONEL para consumidores industriales.

**Tabla 4.1**

*Tarifas horarias diferenciadas*

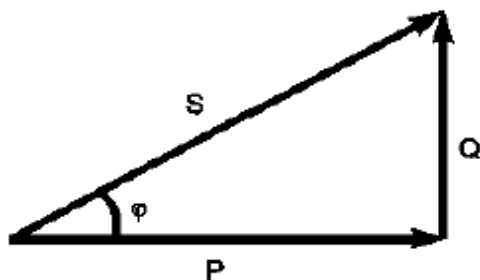
Tarifas horarias	
Horario establecido	\$ kWh
08h-18h lunes a viernes	0,0837
18h-22h lunes a viernes	0,0967
08h-18h lunes a viernes	0,0501
18h-22h SDF	0,0837

*Nota: Tomado Evaluación de la eficiencia energética del sistema eléctrico del proceso productivo de la empresa de lácteos "Soprab" de la ciudad de Ambato, en el año 2012-2013. Diseño de un plan de gestión para el uso eficiente de la energía eléctrica (pag,26), por Mayorga Pérez, 2018, Universidad Técnica de Cotopaxi.*

#### 4.2.2 Factor de potencia en las redes eléctricas

El factor de potencia es aquel indicador, el cual permite determinar la eficiencia de la red de energía eléctrica, los resultados están dados por la relación de la potencia real o activa y la potencia total que se demande para la carga, en las siguientes ecuaciones se observa lo expresado en el texto y en la figura se encuentra el triángulo de potencias para interpretar de manera trigonométrica las ecuaciones (Mayorga M, 2018). En la figura 4.1, se muestra la potencia aparente, reactiva y activa representada en un triángulo rectángulo el mismo que permite mediante el cálculo de funciones trigonométricas el factor de potencia.

**Figura 4.1**  
Representación del triángulo de potencias



*Nota: Tomado Evaluación de la eficiencia energética del sistema eléctrico del proceso productivo de la empresa de lácteos "Soprab" de la ciudad de Ambato, en el año 2012-2013. Diseño de un plan de gestión para el uso eficiente de la energía eléctrica (pag,23), por Mayorga Pérez, 2018, Universidad Técnica de Cotopaxi.*

$$FP = \left[ \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}} \right]$$

$$P = U * I * \cos\omega$$

$$Q = U * I * \text{Sen}\omega$$

$$S = U * I$$

Donde:

FP = Factor de potencia

P (kW) = Potencia activa

Q (kVAr) = Potencia reactiva

S (kVA) = Potencia aparente

En general para la compensación los bancos de capacitores son los más utilizados por las industrias por los bajos costos y mantenimientos, además de la disminución de pérdidas de energía. La instalación de los bancos de capacitores está directamente sujeta a disminución de la energía reactiva entre la fuente y los elementos receptores, también entregan energía reactiva a la red descargando en el punto de conexión hacia arriba, logrando la posibilidad de aumentar la potencia disponible en el devanado secundario de la fuente o transformador, aplicando la instalación de equipos para corregir el factor de potencia. La siguiente tabla 4.2, se observa el incremento de la potencia activa (kW) que proporciona a un transformador cuando la corrección del  $\cos \omega$  es igual a 1, con esta demostración es

posible la reducción de los calibres de los conductores en el proyecto de instalaciones eléctricas industriales (Mayorga M, 2018).

**Tabla 4.2** Aumento de la potencia disponible en % en el secundario de un transformador en función del  $\cos \phi$  de la carga

Cos $\phi$	Aumento de potencia disponible
1,00	0,0%
0,98	2,0%
0,95	5,2%
0,90	11,1%
0,85	17,6%
0,80	25,0%
0,70	42,8%
0,65	53,8%
0,50	100,0%

*Nota:* Tomado *Evaluación de la eficiencia energética del sistema eléctrico del proceso productivo de la empresa de lácteos "Soprab" de la ciudad de Ambato, en el año 2012-2013. Diseño de un plan de gestión para el uso eficiente de la energía eléctrica* (pag,26), por Mayorga Pérez, 2018, Universidad Técnica de Cotopaxi.

(Enríquez G, 2018) Para el cálculo del banco de capacitores, hay que tomar en cuenta las subsiguientes circunstancias descritas a continuación: el factor de potencia que se desea lograr, el valor actual y la potencia activa instalada, lo mismos que en la selección influyen directamente proporcional en la instalación, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_c = P (\tan \omega_1 - \tan \omega_2)$$

Donde:

$$Q_c = \text{Potencia reactiva capacitiva a instalar (kVar)}$$

$$P = \text{Potencia activa instalada (kW)}$$

Posterior a que el valor de la compensación reactiva  $Q_c$  es conocida, se establece la capacidad del banco de capacitores como se muestra en la ecuación siguiente, el mismo que puede aplicar en diferentes niveles de compensación y obtener beneficios, como se observa específicamente en la tabla 4. Para sacar mayor ventaja es apropiado que la localización del banco o capacitor sea los más cercano a la carga en baja tensión (Mayorga M, 2018).

$$C = \frac{Q_c}{2 * \pi * f * U^2}$$

Donde:

C = Capacidad de capacitor (F).

Qc = Energía reactiva de compensación en (Var).

$\Pi = 3,1416$ .

F= Frecuencia de la red (Hz).

U= Tensión de alimentación del capacitor (V).

En la tabla 4.3, se muestra las ventajas y observaciones de la compensación de la potencia reactiva en los diferentes niveles de distribución, las ventajas compatibles son la cancelación de las penalizaciones, ajusta la potencia aparente a la necesidad de la red industrial y dentro de las observaciones son las pérdidas por efecto Joule.

**Tabla 4.3**

*Niveles de compensación de la energía reactiva*

Niveles de compensación	Ventajas	Observaciones
Global	Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía	La corriente reactiva está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores.
	Ajusta la potencia aparente a la necesidad real de la instalación	Las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas
Parcial	Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía	La corriente reactiva está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores.
	Mayor potencia disponible en kW en los bancos de transformación	Las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas
Individual	Optimiza toda la instalación, la corriente reactiva se suministra en el mismo lugar del consumo	La corriente reactiva no está presente en los cables de alimentación.
	Mayor potencia disponible en kW en los bancos de transformación	Las pérdidas por efecto Joule en los cables no se anulan totalmente

*Nota: Tomado Evaluación de la eficiencia energética del sistema eléctrico del proceso productivo de la empresa de lácteos "Soprab" de la ciudad de Ambato, en el año 2012-2013. Diseño de un plan de gestión para el uso eficiente de la energía eléctrica (pag,28), por Mayorga Pérez, 2018, Universidad Técnica de Cotopaxi.*

### 4.2.3 Eficiencia energética en redes de vapor

Un mecanismo común en las industrias para transmisión de calor es el vapor de agua por su simplicidad de generación, operación y costos bajos en relación con otras alternativas. La generación de vapor se produce en un hogar o caldera, la misma que está diseñada para incrementar la temperatura de los fluidos por lo general el agua que cambia su estado de líquido a vapor a una temperatura y presión definida. Existen dos métodos para el cálculo de la eficiencia en los sistemas de vapor de las calderas: en la ecuación se muestra el método directo donde la energía útil se relaciona con la energía que ingresa al sistema y en la ecuación se observa el método indirecto el cual se sustrae energía total que ingresa al sistema y las pérdidas generadas para producir vapor (Mayorga M, 2018).

$$Eficiencia (\%) = \frac{m_v \left[ \frac{kg}{h} \right] * (h_g - h_{agua\ in})}{m_c \left[ \frac{kg}{g} \right] * P.C.S \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}$$

$$Eficiencia (\%) = \frac{(m_c \left[ \frac{kg}{h} \right] * P.C.S \left[ \frac{kJ}{kg} \right] - \sum pérdidas \left[ \frac{kJ}{kg} \right])}{m_c \left[ \frac{kg}{g} \right] * P.C.S \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}$$

Dónde:

$$m_v = \text{Flujo de vapor} \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$h_{agua\ in} = \text{Entalpía de entrada del agua} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_g = \text{Entalpía total del vapor} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$m_c = \text{Flujo de combustible} \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$P.C.S = \text{Poder Calorífico Superior} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$\sum \text{pérdidas} = \text{Total pérdidas del sistema}$$

#### **4.2.4 Eficiencia energética en redes de aire comprimido**

El aire comprimido constituye una forma de energía de diferentes aplicaciones, otorgando varias ventajas en medios avanzados de máquinas y accionamientos para algunas industrias de diversos indoles (Hinojosa R, 2007). (Bobadilla, 2019) Menciona en su investigación “*que los ahorros de energía en los sistemas de aire comprimido son posibles en la producción y tratamiento del aire comprimido, redes de aire comprimido, dispositivos de uso final, diseño y operación general del sistema*”. (p. 68), la buena operatividad, funcionamiento y mantenimiento de estos sistemas beneficia en gran medida la eficiencia energética en las instalaciones de una industria.

Disminuir longitud de la red o aumentar el diámetro de la tubería podría representar un 12%, así mismo corregir fugas en ciclos constantes representa de entre un 15% al 50% de pérdidas en la producción de aire. La redistribución o conexiones comunes a través de presiones de trabajos y la disminución de presión de 1 bar otorga un 8% de optimización de energía, esto sumado a la verificación apropiada de los elementos como filtros, válvulas reguladoras de presión y separadores de condensado establece la prevención de pérdidas. Son indispensables las instalaciones automáticas en la producción de aire comprimido, últimamente en un compresor la velocidad variable proporcionar cerca de 35 % de ahorros (Bobadilla, 2019, p. 69).

#### **4.2.5 Eficiencia energética en iluminación**

La iluminación cumple con una función en la que facilita que la productividad de la planta de alimentos, con una deficiencia no se puede efectuar las actividades con normalidad, ya que resultan riesgosas. El avance de la tecnología ha logrado que las luminarias cada vez sean más eficientes, otorgando mayor luminosidad con menor potencia, además que reducen el calor emitido ya sea en dicha lámpara o transformador si es el caso de una halógena. Para tener los sistemas de iluminación eficientes existen buenas prácticas que favorecen el rendimiento y el uso racionalizado de las luminarias; en las plantas de alimentos por lo general las luminarias están en un ambiente con bastante polución, por lo que es necesario programar la limpieza; es de importancia que las áreas sean pintadas las paredes o techos de colores claros para que el reflejo ayude a dar más claridad; también es considerable que el diseño de las construcciones



se incline hacia el aprovechamiento de la luz natural; el control de operación hace posible planificar, mejorar mediante la instalación de temporizadores, interruptores o sensores de movimiento para que el uso de iluminación sea eficiente (Chafloque J. & Vallejos J., 2015).

### **4.3 Eficiencia energética en equipos industriales**

La industria y en particular la alimenticia, requiere de un sin número de equipos para los procesos de producción, los motores eléctricos son los principales consumidores de energía eléctrica aproximadamente más de un 50% es el consumo de los motores eléctricos en una industria (Navarro J. & Molés F., 2015). Es necesario que todos los equipos sean registrados en el inventario con todas las especificaciones técnicas y con el historial de mantenimientos para controlar y evaluar el rendimiento de los equipos.

#### **4.2.1 Eficiencia en motores eléctricos**

Se consideran que para la eficiencia eléctrica de los motores se deben tomar rasgos críticos de selección ya que afecta al costo de operación; describen formas de mejorar eficiencia energética en motores como por ejemplo evitar el rebobinado, evitar sobredimensionamientos y la utilización de sistemas automáticos (Chafloque J. & Vallejos J., 2015). El rendimiento limite por el cual están diseñados los motores modernos alcanza un 75% de su carga nominal, cuando operan entre un 50% y 100% de la misma solo deduce un pequeño cambio del rendimiento, estando en una zona aceptable de manejo y trabajo del motor, aunque el rendimiento cae repentinamente a cargas menores de 25% (Navarro J. & Molés F., 2015).

Martín & Socconini (2019), en el libro *Lean Energy 4.0 Guía de Implementación*, describen lo siguiente acerca del dimensionamiento de motores “*Los motores deben ser dimensionados, por regla general, a un 85% de su capacidad nominal (la que se indica en su placa identificativa). Esto quiere decir que un motor de 10 HP (o de 7.5 kW) debe ser utilizado con una carga de 8.5 HP (o de 6.37 kW). El no hacerlo de esta forma implica que los motores no están siendo utilizados de una manera eficiente y, por lo tanto, se desperdicia energía*”. Dada esta postura de instalar

motores sobredimensionados, es posible suscitar el reemplazo del motor por uno de su inmediato inferior de potencia nominal; ya que se demanda la misma potencia, a su vez aumenta el factor de carga, en consecuencia, un incremento del rendimiento y eficiencia energética (Navarro J. & Molés F., 2015).

#### **4.2.2 Variadores de frecuencia**

En la industria, como es frecuente se utilizan motores eléctricos, un porcentaje del 75%, se emplean en sistemas de fluidos como bombas y ventiladores y en sistemas de compresión como compresores de aire; es común encontrar en dichos sistemas válvulas de estrangulación o dámper, reguladores de tiro o los sistemas de recirculación para operación, los mismos que proceden ser energéticamente ineficientes. La aplicación de variadores de frecuencia en motores eléctricos que ejecutan cargas parciales en mayor tiempo, se logra más eficiencia en el control de su marcha; cambiar estas variables permite ahorros energéticos imprescindibles, consiguiendo entre 40-50% menos del consumo de energía (Navarro J. & Molés F., 2015).

Hay diversos modos para controlar caudal en los sistemas de transporte de fluidos como los estrangulamientos con válvulas o variador de frecuencia, cuando el sistema requiere un caudal menor el consumo de energía disminuye, así mismo otorga reducción de perdidas en los conductos (Navarro J. & Molés F., 2015). La utilización de variadores de frecuencia en el arranque y operación de los motores eléctricos no provoca picos de corriente, los mismos que pueden alcanzar hasta los 9 veces mayor a su nominal de placa, el variador otorga un lento y ligero arranque al motor, ahora los sistemas trabajan en curvas de eficiencia por la alteración de frecuencia, a su óptimo punto de operación y aplicación (Proaño P, 2018).

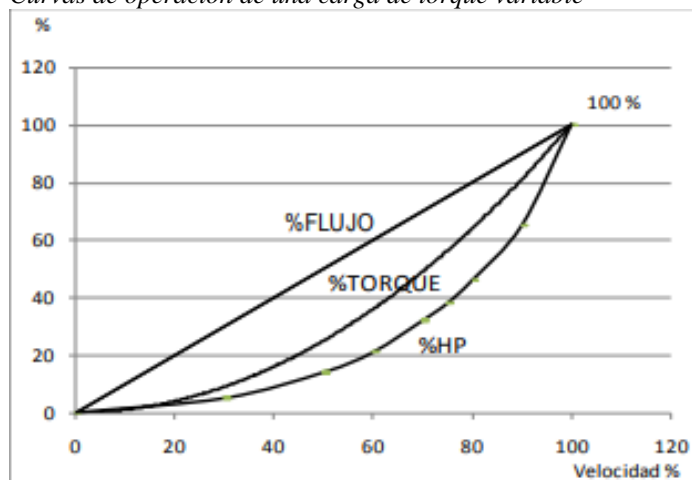
#### **4.3.3 Aplicaciones de eficiencia energética en equipos según su torque.**

Los variadores de velocidad son aplicados en torque variable y torque constante, la aplicación de variadores de velocidad en cargas de troque variable es más representativo la energía ahorrada que en torque constante. Las aplicaciones de torque variable se pueden encontrar en equipos como bombas y ventiladores centrífugos (Chafloque J. & Vallejos J., 2015). En aplicaciones de torque variable, el torque que

se requiere es proporcional al cubo al cuadrado y la potencia que se requiere es proporcional a la velocidad del cubo, como se muestran en las leyes de afinidad; esto produce una disminución de la potencia por cada reducción de velocidad, como se muestran en la figura 4.2, Quispe (2009).

**Figura 4.2**

*Curvas de operación de una carga de torque variable*



*Nota:* En la gráfica se muestran las curvas de operación de una carga de torque variable. Tomado *Mantenimiento y funcionamiento de silos* (pag,79), por Williams, David B; Gracey, Alfred D, 1996.

A continuación, se muestran las ecuaciones de las leyes de afinidad, las mismas que son esenciales para la eficiencia energética de equipos como ventiladores y bombas.

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{n'}{n''}$$

$$\frac{H'}{H''} = \left(\frac{n'}{n''}\right)^2$$

$$\frac{P'}{P''} = \left(\frac{n'}{n''}\right)^3$$

Donde:

Q = Caudal

n = Velocidad

H = Presión

P = Potencia

Con la utilización del variador de frecuencia en este tipo de aplicaciones a cargas de torque variable donde se varía el flujo y potencia, Mirian Quispe señala que *"en este caso el motor consumirá solo el 25% de la misma cantidad de energía en 50% de velocidad en comparación a lo que será a 100% de velocidad"*, lo siguiente está dado por las leyes de afinidad (Quispe, 2009). Los sistemas trabajan con una carga aliviada y los equipos no se esforzarán.

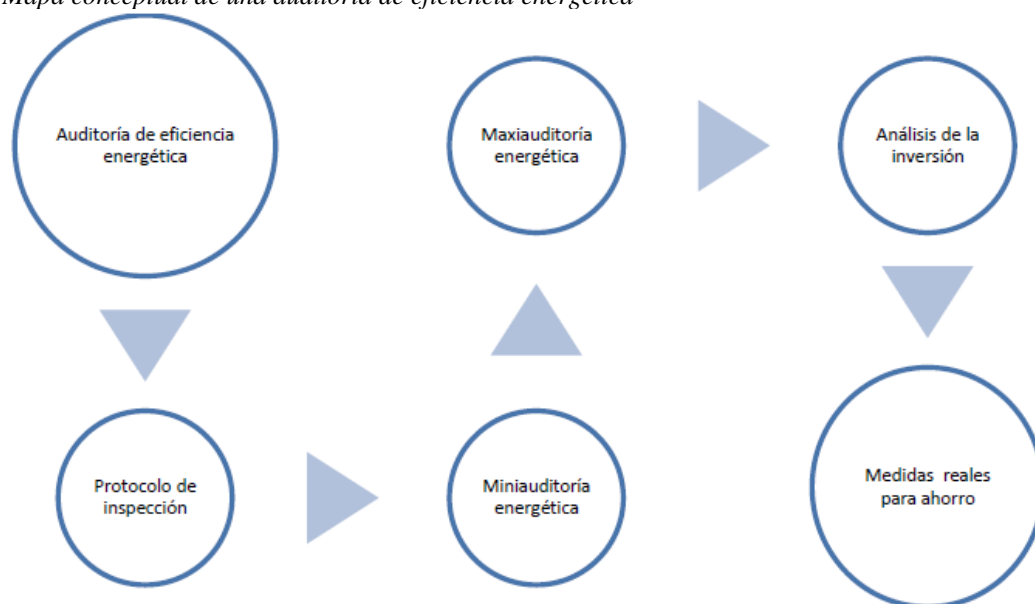
#### **4.4 Auditoría energética en la industria de alimentos**

La auditoría energética comprende el estudio y análisis a toda la infraestructura y sistemática energética de las plantas de alimentos, con la finalidad de recolectar información tanto técnica como económica de los efectos del consumo de energía. (Vega J., 2018) definió el concepto de auditoría energética luego del estudio de varios conceptos y cito lo siguiente *"auditoría de eficiencia energética es uno de los pasos primordiales para lograr la eficiencia energética en una planta industrial, pero un programa exitoso solo se da con el apoyo y la participación de la gerencia y el personal. Con la ayuda de todos los involucrados dentro de la auditoría se logra revelar dónde y cómo se usa la energía eléctrica en todos los procesos de la industria desde la parte de la administración hasta los complejos procesos automatizados de producción alimenticia"*, hace referencia al compromiso administrativo, que deben cumplir todos los trabajadores en cualquier nivel de la organización, para llevar a cabo con todos los detalles de la auditoría y así alcanzar los objetivos trazados en conjunto en cuanto a la mejora de la eficiencia energética.

En la figura 4.3, se observa el cuadro estándar conceptual de cómo es la organización y los pasos para seguir para desarrollar una auditoría energética, se puede evidenciar que arranca desde simples inspecciones visuales protocolarias, que permiten obtener información básica importante para que luego ya entre de por medio, pequeñas auditorías específicas en ciertos equipos o áreas, que se separan, comparan y posteriormente se engloban y se enlazan para evaluar el macro, favoreciendo la determinación de donde es conveniente comenzar a realizar las inversiones, es importante que efectuado todos los pasos al final, se compruebe o se sigan los pormenores de las medidas reales que se quieren obtener

**Figura 4.3**

Mapa conceptual de una auditoría de eficiencia energética



Nota: Mapa conceptual de una auditoría de eficiencia energética. Tomado de *Metodología de una auditoría de eficiencia energética en la industria alimenticia* (p.16) por Vega Maldonado, 2018, Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### 4.1.1 Planificación y reunión inicial

Consiste en la etapa preliminar donde se programa y asegura que el equipo esté listo y organizado, el punto inicial es la información general de la empresa la ubicación, dimensiones, capacidad, esquemas generales principales procesos de producción. En la etapa de planificación se revisan los ejes de ejecución de la auditoría, para cumplir con objetivos prácticos. Es de utilidad guías, metodologías de auditorías energéticas realizadas anteriormente, también es recomendable llevar a cabo plantillas y actas para complementar los trabajos de campos y organizar la información principal.

Una vez coordinada y moderada la planificación, se solicita una reunión con los responsables e interesados de la empresa, y todo el equipo que va a realizar la auditoría. En la reunión se sustenta el objetivo, el procedimiento, la metodología de la comunicación de ejecución de la intervención que se va a llevar, además se busca la sensibilización de los colaboradores que forman parte de los procesos de producción, para facilitar el intercambio de la información que sin duda servirá para realizar los análisis y evaluaciones con índices de mayor confiabilidad (Navarro J. & Molés F., 2015).

#### **4.2.2 Recopilación y revisión de datos**

La recopilación de datos debe ser de todo lo conveniente al uso de energía de los procesos de producción como consumos de energía eléctrica y combustibles para uso de vapor, etc., horarios de funcionamiento, identificación de los principales consumidores e información sobre aplicaciones y proyectos futuros.

#### **4.2.3 Análisis de la información y trabajo de campo**

Una vez recopilada toda la información se planifica la intervención en campo para detectar anomalías, se establecen los instrumentos de medida, la ubicación, la fecha y tiempo donde se realizan las medidas, para no interrumpir en las actividades regulares de las instalaciones y sistemas de producción. El trabajo de campo consiste en conseguir los datos e información de los equipos y de las instalaciones, así como comprobar que la información recolectada sea apropiada, en el proceso es posible seccionar en tres actividades diferentes:

**Entrevista:** La cual pretende tener el conocimiento de las instalaciones, por ejemplo el organigrama administrativo y la ubicación del coordinador energético en la organización, el interés por la aplicación de criterios de eficiencia energética en los procesos de producción mediante inversiones de proyectos de mejora, conocer la existencia de antiguas auditorías energéticas y toda la información específica correspondiente a consumidores y proyecciones de energía; capacidad máxima de operaciones, funciones y horarios de producción.

**Inspección visual:** Es un recorrido que se realiza por los procesos de producción de la planta, con la finalidad de entender los flujos del producto y energía, determinar los mayores consumidores, verificar los instrumentos de medición, revisar procedimientos para reportar la producción y energía e identificar a primera vista oportunidades de ahorro.

**Ejecución de mediciones:** Mediante las mediciones se basa en complementar los datos obtenidos de planta, constatar la operación de los equipos y las redes industriales, para a través de esta información realizar el balance energético. Las mediciones más comunes que se encuentran son las eléctricas (factor de potencia, tensión, cargas de potencia) y las térmicas (eficiencia de combustión, temperatura

de paredes y superficies de equipos o tuberías, temperatura y gases (Navarro J. & Molés F., 2015).

#### **4.2.4 Identificación y mejora**

Existen diferentes tipos de medidas que se adoptan para organizar, planificar y ejecutar medidas de ahorro y mejora continua de la eficiencia energética, a continuación, se mencionan algunas de las disposiciones que se pueden acoger:

Medidas sin o bajo coste: Comprende en periodos bajos de retorno, conforma básicamente el cambio de operaciones, mejoras del mantenimiento, optimización de la tarifa eléctrica, racionalización del uso de energía.

Medidas de inversión media: Constituyen aquellos proyectos en el cual hay un periodo de retorno de hasta 2 años, entre algunos ejemplos se encuentran el cambio de equipos o mejoras.

Medidas de inversión alta: Se consideran aquellas medidas de inversión alta, cuando el periodo de retorno de las inversiones es mayor a 3 años, acostumbran generalmente al cambio de equipos, mejoras o proyectos de energías renovables (Navarro J. & Molés F., 2015).

#### **4.5 Evaluación de inversiones en eficiencia energética**

En las áreas de ingeniería como financiera, la evaluación de inversiones en eficiencia energética son materia de estudio y análisis tanto de asociaciones públicas como privadas que incentivan mediante políticas promover la disminución de impactos ambientales que se generan a partir del consumo de energía y como prevención a los riesgos y amenazas a la seguridad energética. Por tal motivo, diversos trabajos se han efectuado para facilitar a los interesados en la toma de decisiones de los procedimientos de evaluación de las inversiones. Los criterios utilizados con mayor frecuencia para evaluar los proyectos en eficiencia energética son el VPN, la TIR y el payback, sin dudar la existencia de algunas otras; la efectividad de la TIR y el VPN se deben a que la primera permite comparar los rendimientos deseados de la inversión en algunos proyectos y la segunda se

componen de todas las variables primordiales relacionadas con la inversión (Salazar Aragón, De Olivera Pamplona, & Vidal Medina, 2012).

#### 4.5.1 Período de Retorno Simple de la Inversión (Pay-Back)

El payback no es más que la relación de la inversión versus los resultados estimados de los ahorros netos de cada año, los valores se usan comúnmente en el sector de la industria, mismos que admiten indicadores de hasta 5-6 años (Navarro J. & Molés F., 2015).

#### 4.5.2 Valor Actual Neto (VAN)

(Navarro J. & Molés F., 2015). El valor actual neto es la diferencia de los ahorros netos totales en un tiempo establecido y la inversión neta, para aquello se define una tasa de descuento y un periodo de operación del montaje, por lo general a 10 años. Zapata Benites (2020) expresa que el VAN posibilita calcular el valor actual de una definida cantidad de flujos de cajas futuros creados por una inversión, radica en deducir a la actualidad los flujos de caja futuros del proyecto, se resta la inversión inicial y el resultado es el VAN. En la siguiente ecuación se observa el método para calcular el valor actual neto.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Fc_i}{(1+k)^i} - I_0$$

Donde,

$I_0$  = Inversión inicial

$Fc_i$  = Flujo de caja en el año i

k = Tasa de descuento

n = Número de periodos

Si los resultados de la evaluación:

Si  $VAN > 0$ ; proyecto aceptado



Si  $VAN < 0$ ; proyecto rechazado

### 4.5.3 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

(Navarro Esbrí & Molés Ribera, 2015) Es la estimación de la tasa de descuento que procede que el VAN sea cero. Representa el interés comercial del dinero para el cual la operación sería indiferente, cuando el resultado de la tasa es mayor al interés comercial el proyecto es viable. Zapata Benites (2020), se refiere a que la tasa interna es aquella donde los costos se emparejan a los beneficios que se alcanzan por haber invertido en el proyecto. Como se muestra en la siguiente ecuación, no es posible el cálculo directamente, si no que se demanda un análisis mutuo para tener como resultado el TIR.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Donde el criterio utilizado para conocer si el proyecto es viable es el siguiente:

Si  $TIR > i$ ; ejecutar proyecto

Si  $TIR < i$ ; no ejecutar proyecto

Si  $TIR = i$ ; decisión del inversionista si ejecuta o no el proyecto

## CAPÍTULO 5

### NORMATIVA PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

#### 5.1 Normativa sobre eficiencia energética

La normativa en eficiencia energética se ha implementado a través de los objetivos medioambientales, trazados por países industrializados, que se comprometieron a disminuir las emisiones de efecto invernadero, con el tiempo varios de los países han emitido regulaciones y normativas que promuevan el ahorro la eficiencia y el uso racional de la energía, haciendo referencia a nuevas políticas sostenibles. Las regulaciones engloban no solo para el uso eficiente de la energía, sino además las fases de consumo en la transformación, transporte y suministro, en las cuales los mercados de servicios energéticos ofertan y a la reducción positiva de la demanda de los recursos energéticos (García Rubio & Mellado Ruiz, 2013).

##### 5.1.1 Normativa internacional IEC60364-8-1

El organismo internacional importante es el IEC (International Electrothechnical Comission), que define y divulga normas y estándares técnicos para el ámbito tecnológico de electricidad, electrónica y afines. La norma IEC 60364-8-1 “electrical energy efficiency within low-voltage electrical installations”, es aquella que especifica los lineamientos para el desarrollo de aplicaciones a nivel internacional de eficiencia energética en instalaciones eléctricas de baja tensión; se conoce que Europa tiene condición de ley, por lo que toma interés de manera directa en los mercados mundiales. La norma expuesta considera, para el equipamiento como: motores, iluminación y HVAC (heating, ventilation and air conditioning); para los sistemas de distribución tales como: transformadores, cableados, factor de potencia, equipamiento con semiconductores y optimización de cargas; y esencial además el monitoreo en tiempo real para el análisis y evaluación de la eficiencia energética. En la tabla 5.1, se observa la categorización en niveles que la norma emplea para la metodología de cálculo en la valoración global para instalaciones en cinco niveles (Romito L., 2015).

**Tabla 5.1**  
*Metodología de cálculo para la valoración global*

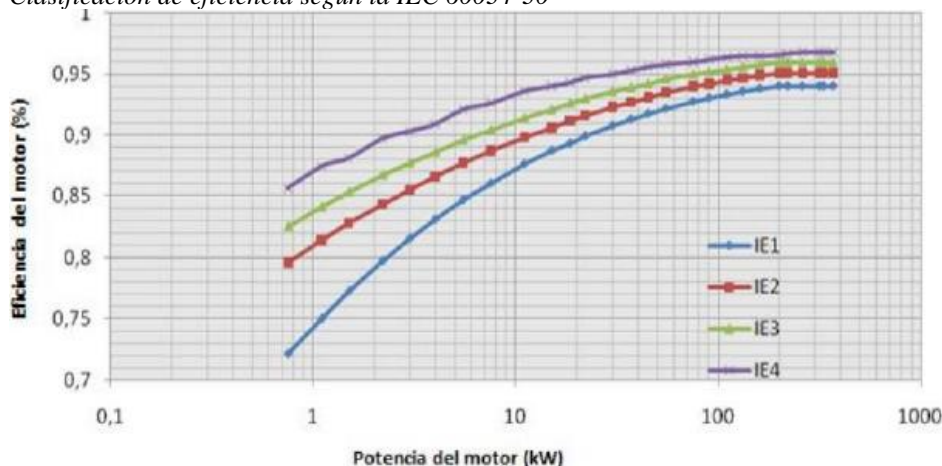
Metodología de cálculo	
Nivel	Descripción
EIEC	Electrical Installation Efficiency Classes
EIEC 0	No efficiency installation
EIEC 1	Low efficiency installation
EIEC 2	Reference efficiency installation
EIEC 3	Advanced efficiency installation
EIEC 4	Optimized efficiency installation

*Nota:* Tomado de *Eficiencia energética y su aplicación en la industria vitivinícola* (p,19-20) por Luis Romito, 2015, Universidad Nacional de Cuyo.

### 5.1.2 Normas técnicas sobre motores

Se estima que el porcentaje de energía eléctrica que es consumida por los motores en las industrias es del 70%, aceptando el rendimiento promedio del 80% en los motores eléctricos en procesos industriales; aproximadamente el 15% de la energía eléctrica que se utiliza en la industria se convierte en pérdidas (Romito L., 2015). Es verdaderamente útil mencionar la norma IEC 60034-2-3, necesaria para evaluar la eficiencia en general de los motores eléctricos, ya que examina especificaciones técnicas sujetas a máquinas eléctricas rotantes, magnitudes eléctricas, desempeño térmico, ensayos, etc.; por otro lado, la norma IEC 60034-2-1, abarca los niveles de eficiencia que opera con el variador de frecuencia, consideradas en relación con las revoluciones por minuto y el par del motor como lo describe ( Rosero J., Quispe E. & Castrillón R., 2018).

**Figura 5.1**  
*Clasificación de eficiencia según la IEC 60034-30*



*Nota:* Tomado de *Evaluación de eficiencia energética de máquinas herramientas en el taller automotriz del IESTP Mario Gutiérrez López, Orcotuna -Concepción* (p,29) por Edwin Renzo, 2018, Universidad Nacional del Centro del Perú.

## 5.2 Norma INEN NTE – ISO 50001

Para la evaluación de la eficiencia energética estudios han utilizado la metodología de la Norma NTE INEN– ISO 50001, (Calderon A., 2019) manifiesta que esta norma fue emitida por la ISO (International Organization Standardization) en el año 2011 como Sistemas de Gestión de la Energía ISO 5001, en este mismo año el INEN fue adaptado como Norma NTE INEN ISO 50001 para que se aplicó en el país. De igual forma el autor (Calderon, 2019) indica que esta norma establece la estructura y procesos para fortalecer la administración y el desempeño energético, es aplicable para cualquier organización o institución, el objetivo de la norma es establecer un Sistema de Gestión Energético SGen, siguiendo el procedimiento de ciclo de mejora continua, PDCA (Plan, Do, Check, Act) o ciclo PHVA.

**Planificar:** Comprende en establecer el desempeño energético actual, buscar opciones para mejorarlo e implantar objetivos de mejora. Es imprescindible definir la línea base que servirá como referencia para el desempeño energético; además el cálculo de indicadores de favorecen a determinar la situación energética en tiempo real.

**Hacer:** Básicamente se refiere a la implementación de los cambios, ejecutando planes de acción para alcanzar los objetivos propuestos.

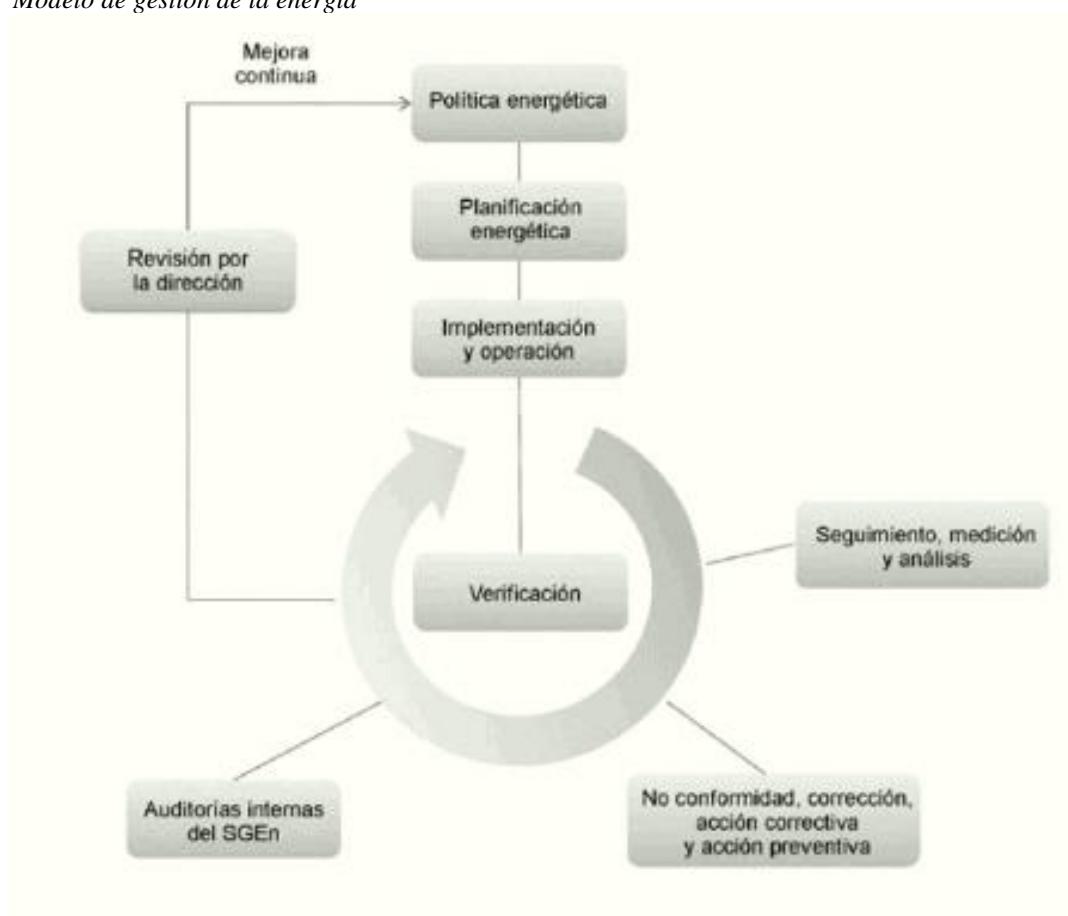
**Verificar:** Es el apartado en el cual se realiza el seguimiento y las mediciones de los indicadores y objetivos propuestos; se evalúan en esencia si se están logrando las metas establecidas de mejora.

**Actuar:** Se examinan los resultados conseguidos para efectuar acciones correctivas y poner en práctica el conocimiento alcanzado al siguiente ciclo de planificación, para así mantener el mejoramiento continuo del desempeño energético y el sistema de gestión energética.

La estructura de la norma INEN NTE - ISO 50001, se fundamenta en las normas ISO de sistemas de gestión. La formación de un sistema de gestión de energía considera la identificación de metas y objetivos, tener el conocimiento de la situación actual y saber cuáles son los medios que se emplearán para el

desenvolvimiento, con el fin de obtener la mejora a la eficiencia y desempeño de la energía. Para conocer el estado actual de los consumos energéticos de una organización o administración, se puede empezar por la línea base; seguido se fijan los objetivos y metas, los cuales disponen mediciones. Se presenta una planificación para la implementación del sistema de gestión, que a través de auditorías internas y el oportuno seguimiento, facultará entender cuáles son las oportunidades de mejora, realizando planes de acción. En la figura 5.2, se muestra un diagrama de los descrito anteriormente (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Figura 5.2**  
*Modelo de gestión de la energía*



*Nota:* Tomado *Evaluación de la eficiencia energética del sistema de aire comprimido en una clínica privada de alta complejidad ubicada en la ciudad de Barranquilla* (pag.65), por Bobadilla, ING. Julio Cesar Efro, 2019.

En el trabajo realizado por diferentes autores para la revista (Ingeniería Energética, 2014), para aplicaciones industriales, llamado Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001 mencionan que “La norma trae implícita la planificación de la energía, la cual

*permite contar con un plan minuciosamente diseñado que sirve de guía durante un período de tiempo determinado. Es una herramienta muy útil para cualquier organización que decida mejorar su modelo de consumo energético y que desee hacerlo conforme a un plan correctamente elaborado*". Se puede concluir que es un estándar fácilmente adaptable a las organizaciones, las cuales buscan metodologías para reducir los consumos o recursos energéticos en cualquier actividad a la que se dedique la empresa. En la tabla 5.2, se muestra el desarrollo y los fundamentos para la aplicación de la norma ISO 50001, la cual consta de cinco apartados importantes para el sistema de gestión.

**Tabla 5.2***Desarrollo de la norma ISO 50001*

Requisitos generales	1. Requisitos generales
	2. Responsabilidad de la dirección
	2.1 Alta dirección
	2.2 Representante de la dirección
	3. Política energética
Planificar	4. Planificación energética
	4.1 Generalidades
	4.2 Requisitos legales y otros requisitos
	4.3 Revisión energética
	4.4 Línea base energética
	4.5 Indicadores de desempeño energético
	4.6 Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía
Hacer	5. Implementación
	5.1 Generalidades
	5.2 Requisitos legales y otros requisitos
	5.3 Comunicación
	5.4 Documentación
	5.5 Control operacional
	5.6 Diseño
	5.7 Adquisición de servicios de energía, productos equipos y energía
Verificar	6. Verificación
	6.1 Seguimiento, medición y análisis
	6.2 Evaluación de cumplimiento con los requisitos legales u otros requisitos.
	6.3 Auditoría interna del SGE.
	6.4 No conformidades, corrección, acción correctiva y preventiva
	6.5 Control de registros
Actuar	7. Revisión por la dirección
	7.1 Generalidades
	7.2 Información de entrada para la revisión por la dirección
	7.3 Resultado de la revisión por la dirección

*Nota: Tomado Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001 (pag,11), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.*

Este modelo de gestión tiene como prioridad: desarrollar una política energética eficiente, monitorear e identificar los recursos energéticos, proyectar metas y objetivos, mejorando la posición de la eficiencia energética, a su vez disminuyendo el impacto ambiental. (Gil, Maccarone, Pascual, & Nahuel, 2016). La alta dirección cumple un papel primordial al comprometerse a promocionar el sistema de gestión, así como facilitar la mejora continua del mismo; a su vez se debe denominar a un representante de la dirección y comunicar la importancia que cada trabajador cumple un rol importante y necesario en la organización.

Para cumplir y asegurar la continuidad de la mejora, e instaurar el compromiso en la organización, existe el importante documento de la política energética, las cuales deben incluir el compromiso para asegurar la disponibilidad de la información, los recursos necesarios para lograr objetivos y metas, y el cumplimiento de los requisitos legales aplicables. La revisión de la documentación y la comunicación debe ser en todos los niveles jerárquicos de la organización y si de ser necesario hay que actualizarlos y renovarlos (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

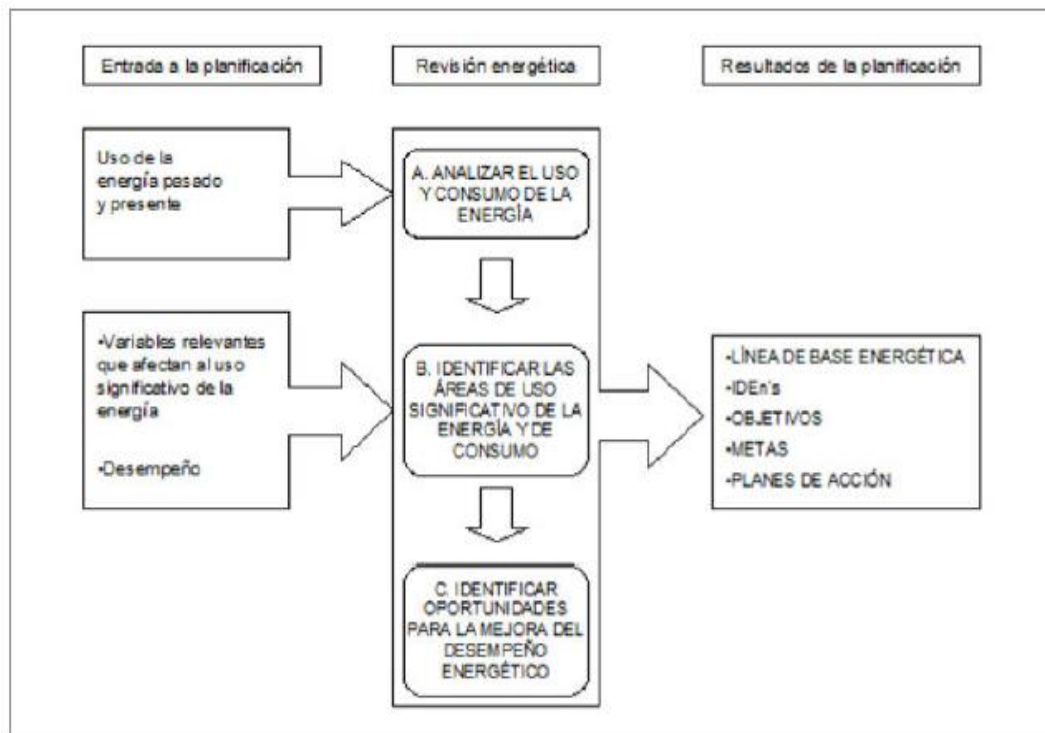
### **5.2.1 Planificación**

En el sistema de gestión de energía uno de los factores más impactantes es la planificación energética, que tiene que ir asociada a la política energética con la finalidad de mejorar continuamente el desempeño energético. La organización es la encargada de realizar la planificación, que está conformada por múltiples actividades para el correcto avance del programa; a su vez la organización debe cumplir con los requisitos legales pertinentes en materia energética. Para la planificación se toma en cuenta desde el inicio, el uso de la energía de los registros históricos y de las proyecciones, así como también las variables que puedan incidir en el desempeño de la organización; posterior se muestra la revisión energética o también llamada auditoría energética, la cual integra del análisis del consumo de energía de la organización y de los mayores consumidores, para a partir de ahí identificar las oportunidades de mejora (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018). En la figura 5.3, se muestra la planificación energética de manera esquematizada, donde

se muestran los conceptos básicos del proceso de planificación energética como lo son: las entradas, las revisiones y los resultados energéticos.

**Figura 5.3**

*Diagrama conceptual de la etapa de planificación energética*



*Nota:* Tomado de *Diseño e implementación de un sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma NTE INEN - ISO 50001:2012, aplicado a la empresa Enkador S.A.* (pag,9), por Ruiz Andrade, Escuela Politécnica Nacional, 2017.

En la etapa de planificación energética se se pueden alcanzar los siguientes resultados:

- Objetivos y metas
- Programas energéticos
- Responsabilidades en la implementación
- Competencias
- Recursos necesarios
- Desempeño energético de la organización
- Indicadores para la evaluación del desempeño y el logro de objetivos y metas energéticas.
- Oportunidades de mejoras de la eficiencia energética.

Existen tres tareas importantes que se deben realizar en la planificación energética: la revisión energética o auditoria, la línea base energética y los



indicadores de desempeño energético. La línea base se registra, se almacena y se verifica permanentemente, para establecer si es necesario realizar correctivos o mejoras al sistema de gestión. Es posible hacer el seguimiento con diversos métodos, como los que se observa en la tabla 5.3, los diferentes tipos de línea base, entre todas las alternativas el modelo de regresión es el más utilizado (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Tabla 5.3**  
*Tipos de línea base*

Tipo de línea base energética	Útil
Valor medido	Para medir reducciones en el uso absoluto o en el consumo de energía. Cuando el ambiente regulatorio se basa en ahorros absolutos. Para monitorizar mejoras relativas del sistema o subsistema.
Proporción: energía específica	Para monitorizar mejoras del sistema que no conllevan mucha variabilidad o una base de carga significativa. Para servir de práctica para evaluar la eficiencia energética de una planta completa, para detectar un consumo de energía desperdiciado o para evaluar la efectividad de las medidas de mejora.
Basada en modelos: regresión lineal	Para el modelamiento de las relaciones más complejas que comúnmente se encuentran en la industria o edificios no domésticos. Para realizar la regresión lineal para modelar factores múltiples que se deben tener en cuenta al estimar el consumo de energía.
Basada en modelos: regresión no lineal	Para modelar consumos de energía no proporcionales a los niveles de producción. Ejemplo: el consumo energético de una bomba es proporcional al cubo del flujo entregado.
Basada en modelos: simulación	Para la normalización de sistemas complejos para entender bien sus efectos. Para utilizarse en casos donde el análisis de regresión no puede tomar ventaja de patrones bien conocidos de comportamiento.

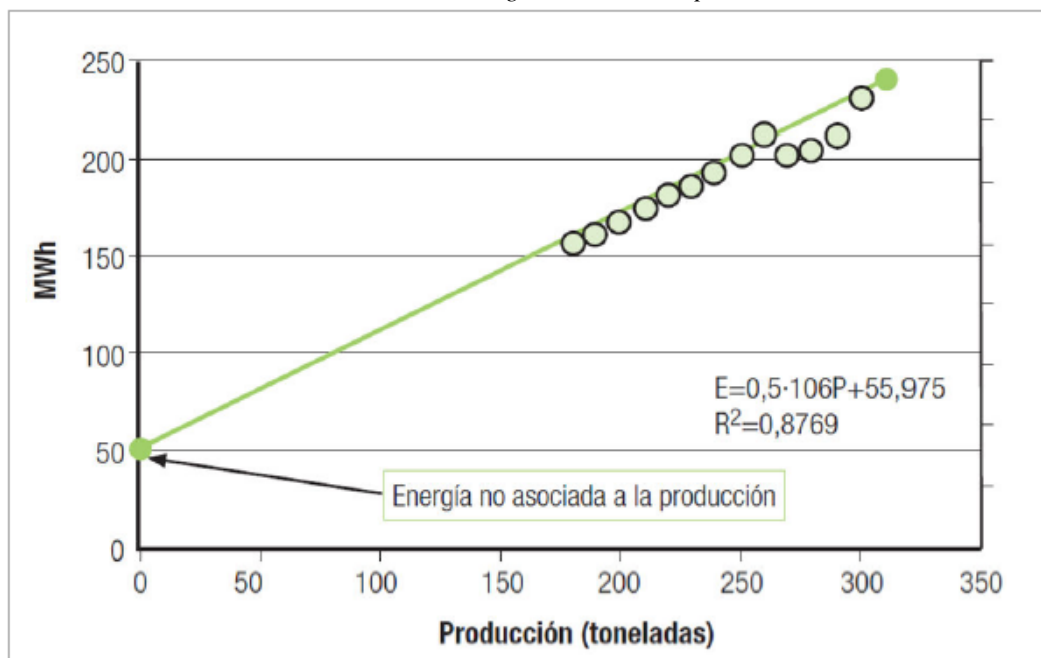
*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,14), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

La línea base examina los consumos de energía registrados y pronostica el hipotético consumo de energía que existiera sin la implementación del sistema de gestión de energía. Para definir la línea base, se reconocen cuáles son las variables que predominan en el consumo de energía, algunas pueden ser como temperatura, radiación, humedad, producción, etc. A partir de los datos de consumo de energía conseguidos en la auditoría energética y las variables que lo establecen, se ejecuta a través de regresión a realizar una gráfica y-x, con el método aplicado de regresión matemática, resulta la ecuación que mejor se asocia a los datos representados. En la figura 5.4, se puede ver el diseño de una línea base y como se alcanza la ecuación

de regresión de acuerdo con el consumo de energía y la producción en toneladas (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Figura 5.4**

*Construcción de la línea base consumo de energía kWh versus a producción en toneladas*



*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,15), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

Los indicadores de desempeño energético son valores que se cuantifican, cada organización los debe identificar apropiadamente y deben ser renovados cada vez que se hagan cambios. Los indicadores de desempeño energético miden la eficiencia, el uso y el consumo de energía de los procesos, áreas o el equipo en específico, también hacen posible la evaluación con referencia a la línea base y dar seguimiento en el transcurso del tiempo. En la tabla 5.4 se muestran los indicadores.

**Tabla 5.4**

*Indicadores de desempeño energético*

Indicador	Unidad
Intensidad energética: consumo de energía en un proceso (o producto) en relación con el consumo total de energía.	kWh proceso o producto/kWh totales
Consumo de energía por producto manufacturado.	tep/u. prod
Consumo específico de agua.	m <sup>3</sup> /u. prod.
Consumo eléctrico unitario por empleado.	kWh/empleado
Cantidad de emisiones de CO <sub>2</sub> , Nox, partículas, etc., por tonelada de productos manufacturados	kg de CO <sub>2</sub> , Nox, partículas/t. prod

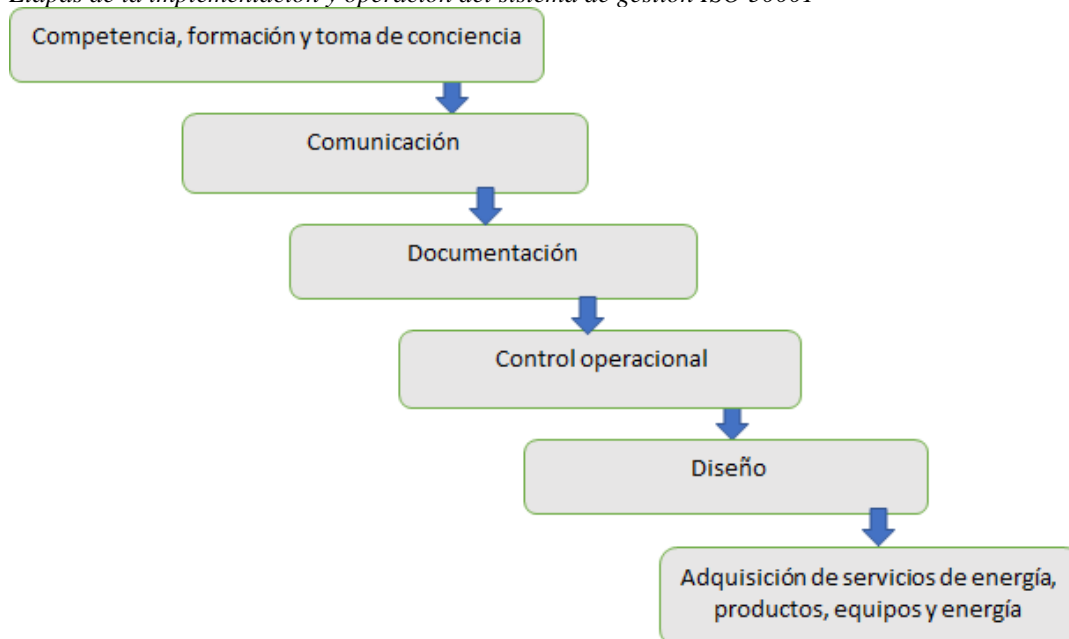
*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,16), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

### 5.2.2 Hacer: implementación y operación

Luego del proceso de la planificación energética, la organización debe aplicar los resultados obtenidos para la implementación y la operación. En la figura 5.5, se muestran las etapas de la implementación y operación de un sistema de gestión de energía ISO 50001 (Rey F., Velasco E. & Rey J, 2018), se aprecian varios pilares como la capacitación, comunicación, documentación, control operación.

**Figura 5.5**

*Etapas de la implementación y operación del sistema de gestión ISO 50001*



*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,21), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

El recurso principal, por la que las organizaciones están constituidas son los recursos humanos, los cuales influyen en el buen comportamiento del sistema de gestión de energía; integra a todo el personal de la organización desde la alta dirección hasta el personal contratista o especialmente el personal que básicamente está asociado a los equipos y a las zonas donde existe un uso significativo de la energía. Es aconsejable considerar la ayuda del departamento de formación o de recursos humanos con el propósito de incentivar dos tipos de tareas: la preparación de los procedimientos para reconocer las necesidades de formación y cumplir con las expectativas, creando un padrón de capacitaciones proporcionadas y las asistencias; y la elaboración de un plan de formación para consolidar que los

empleados están entrenados para desempeñar actividades que les interesen e informen a los trabajadores de las oportunidades de mejora y el impacto en relación al consumo energético.

Para la comunicación es fundamental que se realice de manera simple, concreta y acertada a través de diferentes medios. Todas las personas que formen parte de una organización pueden recomendar o comentar acerca de mejoras para el sistema de gestión de energía. En la figura 5.6, se muestran los aspectos prioritarios, los cuales deben ser parte de la comunicación del sistema de gestión de energía, la organización resuelve si la política y el desempeño energéticos se lo comunica de manera externa, y determina un proceso para realizar dicha documentación (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Figura 5.6**  
*Factores de comunicación en la ISO 50001*



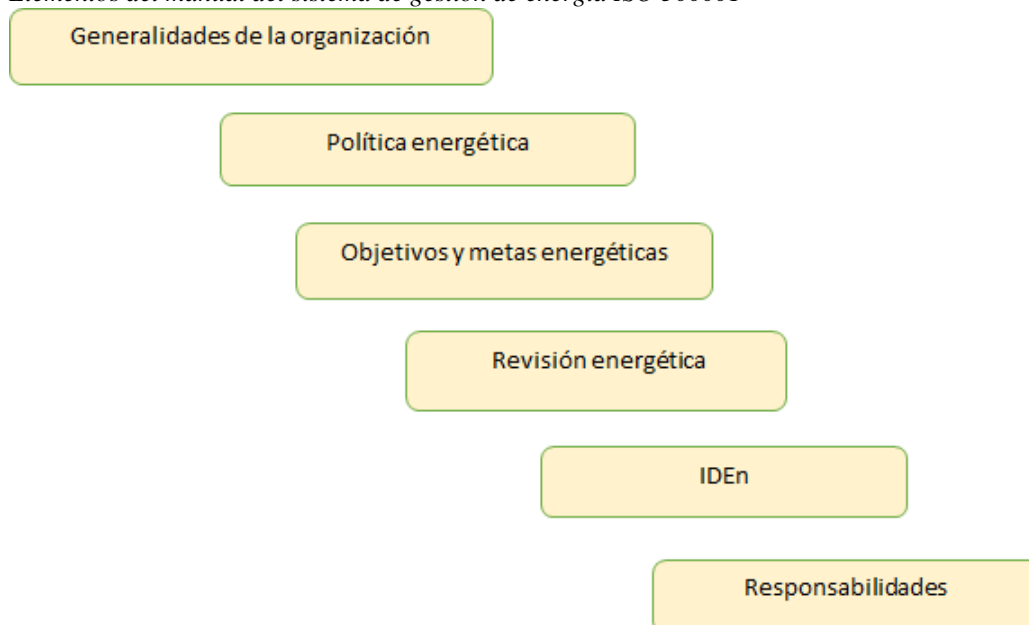
*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,22), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

La documentación otorga la información elemental para realizar las tareas, evidenciar los logros alcanzados, el cumplimiento de los requisitos legales, la comunicación de los procedimientos y la evaluación de los efectos con periodos de tiempos anteriores. La organización es la encargada de la elaboración de los documentos, recibiendo la información primordial para expresar las causales imprescindibles del sistema de gestión de energía; la documentación debe constar del alcance y los límites, la política energética, los objetivos y metas y los planes de acción (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018). En la figura 5.7, se muestran los

elementos del manual del sistema de gestión de la energía ISO 50001 que se describieron anteriormente.

**Figura 5.7**

*Elementos del manual del sistema de gestión de energía ISO 50001*



*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,23), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

Identificar las operaciones relacionadas con el uso significativo de la energía: La función es de establecer procedimiento de tareas, en la cual se detallen los criterios de operación y mantenimiento, las variables relevantes del proceso, los valores de control, las responsabilidades de realización, los registros y la gestión de la información y la monitorización, para efectuar en cada periodo la mejora continua y examinar las oportunidades de mejora del desempeño energético y control operacional de instalaciones, equipos o procesos que tienen consecuencias importantes en el desempeño energético.

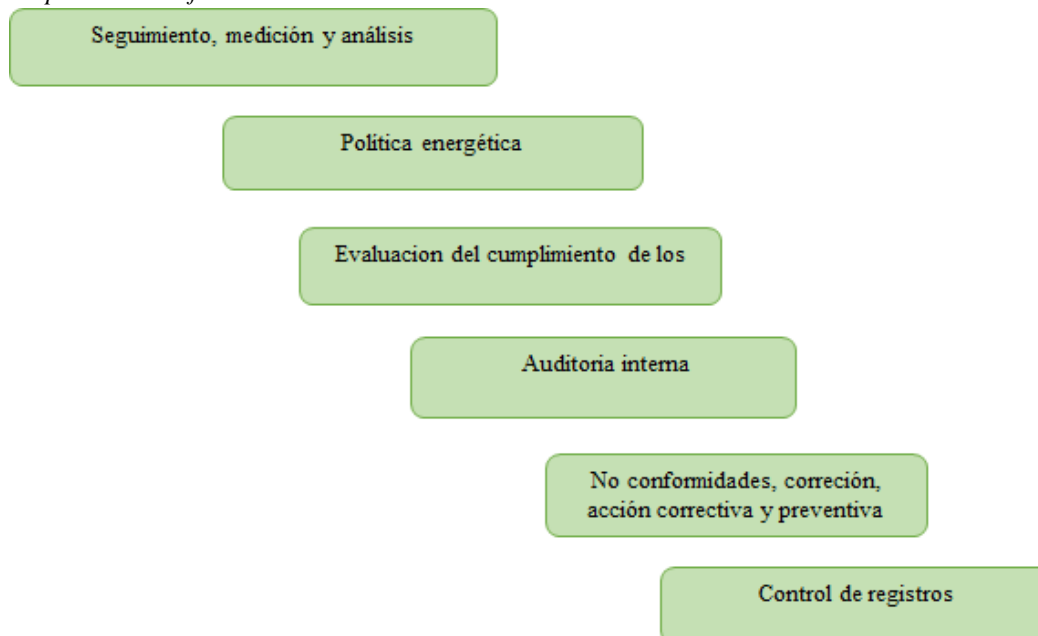
Comunicar los criterios de operación y mantenimiento: Tiene como utilidad a todo el personal de la organización para que sea posible que puedan ejecutar las tareas diarias, si hay un responsable externo, se debe cumplir de igual manera con lo establecido. En la figura 5.8, se observan los aspectos de control operacional de la ISO 50001, donde se puede evidenciar los factores de mantenimiento, el entrenamiento al personal, los parámetros críticos de operación y el seguimiento, comunicación de resultados que influyen en la operación energética eficiente.

**Figura 5.8***Aspectos de control operacional en la ISO 50001*

*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,24), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

### 5.2.3 Verificar

La finalidad de esta tarea es ejecutar el seguimiento, la medición y el análisis de desempeño de la organización, con el objetivo de ejercer de forma oportuna cuando se necesite realizar correcciones, acciones preventivas o de mejora. Los procedimientos que comprenden según el sistema de gestión de energía ISO 50001 se observan en la figura 5.9, donde resaltan los pilares de seguimiento, política energética, auditoría y las no conformidades (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Figura 5.9***Etapas de la verificación del ISO 50001*

*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,26), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

Para lograr la mejora continua en el sistema de gestión de energía es preciso realizar mediciones, seguimiento y un estricto análisis. Es necesario definir un plan de medición energética acorde a los requerimientos de la organización, el cual debe integrar los procedimientos de medición como, por ejemplo: quien efectúa las mediciones, las unidades, la frecuencia, los registros y almacenaje de la información, la persona que procesa los datos, que los analiza y que los comunica. En los últimos años las organizaciones han decidido implementar técnicas de las tecnologías de la información y comunicación para las mediciones y seguimiento, se le ha llamado monitorización, contribuyendo a la ejecución de aspectos comprendidos en la norma ISO 50001, como lo son: la revisión energética o auditoría energética, la identificación de las áreas de uso significativo de energía, la determinación del desempeño energético y los indicadores, la estimación y previsión de futuro uso y consumo de energía, el seguimiento y el registro de consumos de energía y el análisis de la información en tiempo real (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

Para asegurar que el sistema de gestión de energía cumpla con las ordenanzas planificadas, las metas y objetivos definidos, y además que se verifique que el desempeño energético está en continuo mejoramiento de los indicadores, se debe seguir el proceso de auditoría interna que se muestra en la tabla 5.5 (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Tabla 5.5**

*Proceso de auditoría interna*

Sistemático	Permite la comparación de los resultados de distintas auditorías
Independiente	El equipo auditor no pertenece a las áreas que se intervienen
Documentado	Determinar e integrar los registros verificados

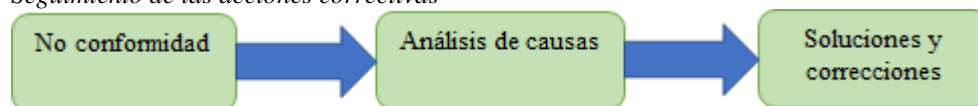
*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,29), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

Para garantizar que la auditoría se realice sin problemas se debe valorar que exista la planificación de la auditoría en la que se definen los responsables, fechas y los documentos a emplear; otro aspecto es la ejecución de la auditoría, la cual tiene como objetivo detectar oportunidades de mejorar y no conformidades y al final el cierre de la auditoría, que no es más que un informe conciso y claro, donde también abarca conclusiones y recomendaciones. Las no conformidades revelan el

incumplimiento de las disposiciones instauradas y posibilitan realizar las acciones de mejora continua al desempeño energético, en la figura 5.10, se observa el seguimiento de las acciones correctivas, donde la cual una vez levantada la no conformidad se debe analizar y solucionar (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Figura 5.10**

*Seguimiento de las acciones correctivas*



*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,30), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.

#### 5.2.4 Actuar: revisión de la dirección

Las revisiones que realiza la alta dirección tienen como fin la verificación y el cumplimiento para garantizar la mejora continua del sistema de gestión de energía ISO 50001. La importancia y el compromiso de la dirección es vital dentro del ciclo PHVA, ya que otorga saber si las políticas, objetivos establecidos y todo lo relacionado con el sistema de gestión de energía es eficaz y adecuado, en la figura 5.11, se observan algunos de los factores primordiales que se deben tener en cuenta para la revisión del desempeño energético por medio de la dirección. Para hacer posible el desarrollo del apartado se deben realizar registros de las revisiones, también es importante que la información se encuentre al alcance de la dirección para plantear cambios dependiendo de nuevos requerimientos y por último los resultados deben ser integrados en todos los informes que contengan la información especial del SGen (Rey F., Velasco E. & Rey J., 2018).

**Figura 5.11**

*Factores para la revisión del desempeño energético por medio de la dirección*



*Nota:* Tomado de *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (pag,31), por Rey Martínez, Velasco Gómez, & Rey Hernández, 2018.



### 5.3 Normativa y regulación ecuatoriana en eficiencia energética

En los últimos años en el Ecuador se observa el interés por iniciativas en eficiencia energética, inicialmente desde la nueva constitución del 2008, donde se describe explícitamente que el estado tiene como deber crear mecanismos para la promoción y desarrollos de nuevas tecnologías, que tengan bajo impacto ambiental; a raíz de aquello, han existido diversos debates para establecer nuevas normas, leyes y reglamentos que tengan como finalidad acelerar programas de eficiencia energética entre los diferentes usuarios públicos y privados.

#### 5.3.1 Constitución del Ecuador

La Constitución del Ecuador en la sección séptima biosfera, ecología urbana y energías alternativas describe lo siguiente en el “*Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua*”, haciendo explícitamente el interés del estado en la aplicación de la eficiencia energética para mitigar impactos negativos en el ecosistema, como eje central de acción.

Además, la constitución del Ecuador establece en el art. 14 que “*se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir*”. El art. 66 “*Se reconoce y garantiza a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza*”. El art 396 señala que “*El Estado adoptara las políticas medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño*” (Coello A., 2017).

La constitución del Ecuador es una de las pioneras, en otorgar derechos a la naturaleza y en mejorar condiciones de vida a las especies que conforman el entorno, como el reconocimiento, la garantía y la promoción de políticas públicas que determinen y establezca condiciones legales, que busquen la prevención a los efectos del desarrollo humano.

### **5.3.1 Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica**

La ley dice en el título VI sobre eficiencia energética en el artículo 74 donde aclara que el objetivo principal es la de mantener el mismo servicio y producto a un menor consumo de energía, por la cual debe incentivar la eficiencia en la economía y en la sociedad, fomentar los valores y conductas de los consumidores con un enfoque en el cual los recursos energéticos sean empleados racionalmente, disminuir los costos de producción por medio del uso eficiente de la energía mejorando la competitividad, reducir el uso de combustibles fósiles y mitigar impactos ambientales proyectando la sostenibilidad en el tiempo, para mejorar la calidad de vida y bienestar de las personas.

### **5.3.2 Ley orgánica de eficiencia energética**

La ley orgánica de eficiencia energética aprobada por el legislativo ecuatoriano, establece los puntos importantes para aplicar sistemas de gestión de energía en plantas industriales, permitiendo que el sector mejore la competitividad de los procesos de producción. En el capítulo I en las disposiciones generales, se definen los conceptos para efectos de aplicación como auditoría energética, consumidor de energía, eficiencia energética, etiquetas de eficiencia energética, indicador de eficiencia energética, productividad energética, entre otros.

En el artículo 15, categorización de consumidores de energía por sector y actividad de acuerdo a su consumo de energía como grandes, medianos y pequeños consumidores, se realiza esta condición ya que el artículo 16 en obligaciones de los consumidores, donde deben cumplir con lo siguiente; para los grandes consumidores la cual aplica para la planta de alimentos determina reportar los consumos de energía anualmente desagregados por fuente y fin, formar para el interior de las operaciones y por cada centro de consumo un sistema de gestión de energía – SGE según las normas definidas por el organismo, realizar auditorías energéticas de manera periódica por medio de terceros o prestadores de servicios energéticos calificados y cumplir con las metas de los indicadores de energía planeados previamente.

## PARTE II APORTACIONES

### CAPÍTULO 6

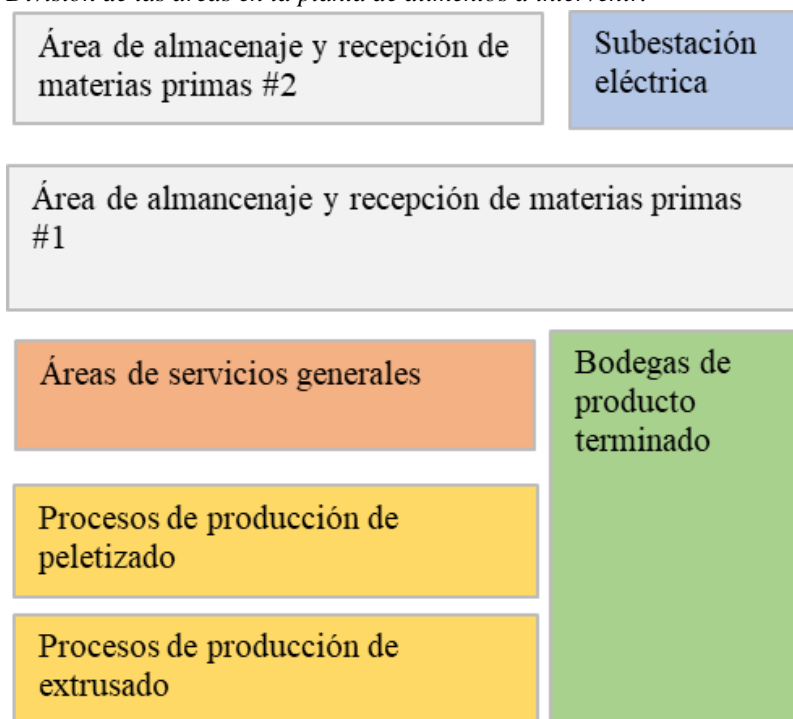
#### CONSUMO ENERGÉTICO DE LA PLANTA DE ALIMENTOS

##### 6.1 Topología de los procesos productivos de la planta de alimentos

La planta de alimentos está ubicada en la ciudad de Duran provincia del Guayas y se dedica a resolver soluciones nutricionales para la alimentación de especies acuícolas como el camarón. En la figura 6.1, se observan el área que comprenden los procesos de producción para la planta de alimentos donde se realizara la intervención, tienen un total de 4.5 hectáreas, aquí se encuentra la estructura necesaria para almacenaje y recepción de materia prima, los diversos procesos de producción de fabricación de alimentos, los sistemas de abastecimiento energético como electricidad, combustible e insumos básicos para el desarrollo de las operaciones.

**Figura 6.1**

*División de las áreas en la planta de alimentos a intervenir.*



*Nota: El autor.*

### 6.1.1 Diagrama de flujo de los procesos de producción

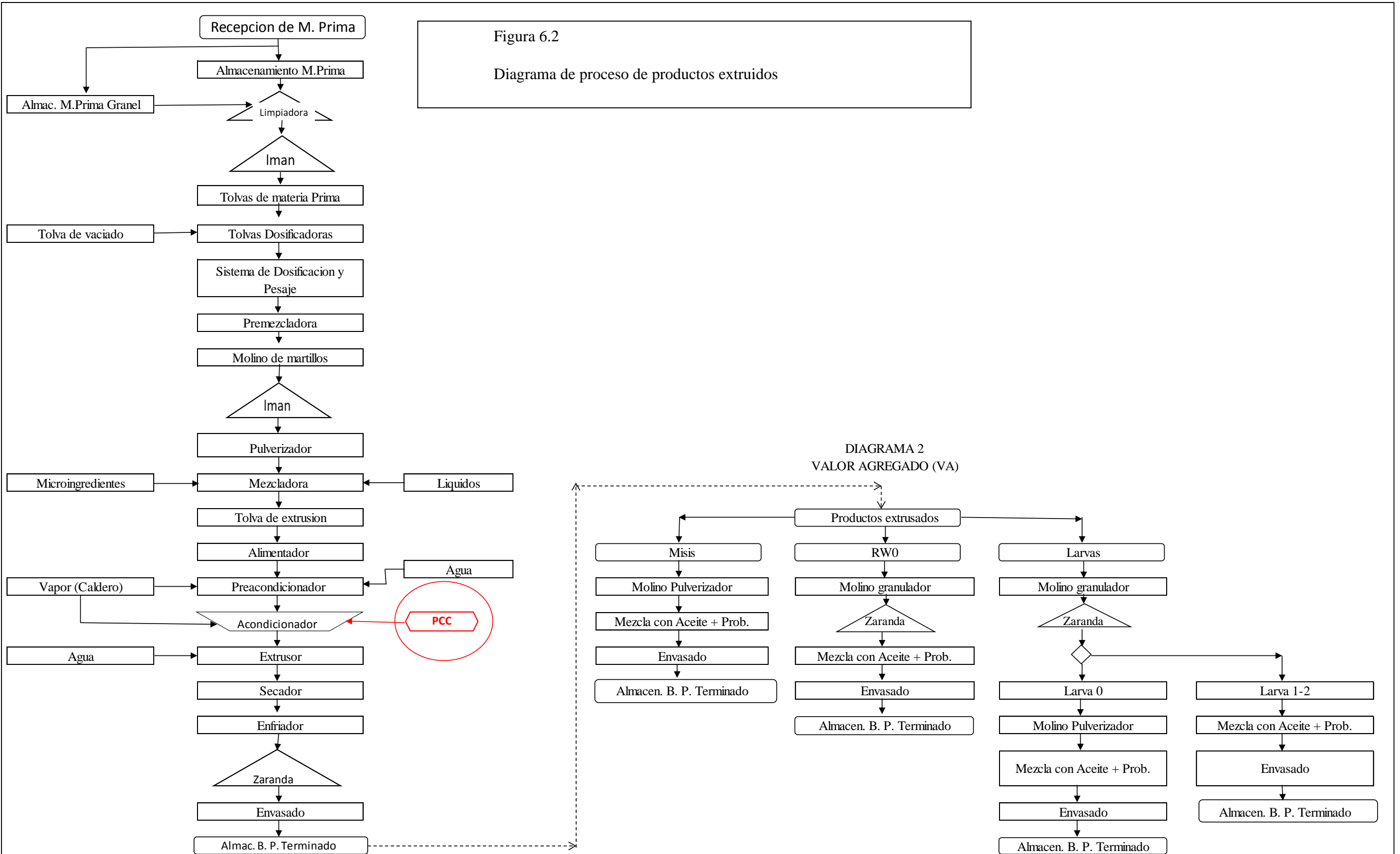
En la planta de alimentos existen varios procesos de producción para la fabricación de diferentes productos, la innovación de nuevas tendencias ha incentivado los proyectos para mejorar y ofrecer calidad de productos con estándares nacionales e internacionales. En la figura 6.2, se muestran los procesos de producción de la planta de alimentos, en la consta de varios subprocesos de producción.

Los procesos de producción comienzan con la recepción de materias primas, las cuales utilizando sistemas de transportación son desplazadas a las tolvas de dosificación listas para ser pesadas en básculas de precisión mediante los controladores lógicos programables que automatiza la formulación en el proceso, una vez armado el batch o formula se traslada a un a premezcladora la misma que tiene como objetivo homogenizar las materias primas para luego disminuir las partículas hasta obtener harinas con equipos de molinos y pulverizadores, otra vez se mezclan en tiempos definidos con otros micro ingredientes y con líquidos.

Elaborada la mezcla a la masa se procede a cocinar con vapor en el acondicionador con el objetivo de gelatinizar los almidones, mitigar patologías en el producto y facilitar los siguientes procesos como el peletizado y extruido que es donde se comprime la mezcla de materias primas, dando el valor agregado a pequeñas piezas o figuras cilíndricas que alcanzan temperaturas mayores a 90°C a la salida, posterior a la salida del dado en el caso del peletizado se retienen en post acondicionadores para prevenir cambios bruscos de temperatura, en el caso del extruido se retiene en secadores que reducen la humedad del producto.

Para disminuir la temperatura del producto a la salida de los postacondicionadores para peletizado y secadores para extruido, es necesario que circulen por procesos de enfriamiento, que físicamente son recamaras por las cuales fluye una corriente de aire generado por ventiladores centrífugos y el producto se retiene por cierto tiempo para asegurar que la temperatura del producto sea la apropiada, una vez que el producto es descargado se transporta hacia el tamizado que está compuesto por un conjunto de cribas o mallas de diferentes medidas, finalmente se envasan en sacos y se estiban en palets para su posterior distribución.

Figura 6.2  
Diagrama de proceso de productos extruidos



### 6.1.2 Diagramas de redes de los procesos de producción

En la figura 6.3, se observa el diagrama unifilar de la red de energía eléctrica se evidencia que la electricidad es suministrada por la empresa estatal comercializadora de energía eléctrica a un nivel de voltaje de 69 kV, por la razón que la subestación tiene una capacidad 5 MVA, para las acometidas de ingreso y salida tiene instalados los interruptores y seccionadores para maniobras de protección y mantenimiento, de la misma manera al ingreso del transformadores y a la salida en el nivel de 13,8 kV, luego mediante conductores se transporta a la subestación de media tensión 13,8 kV donde se encuentran los bancos de transformación para la distribución de las redes de energía eléctrica a través de los diferentes procesos de producción de alimentos.

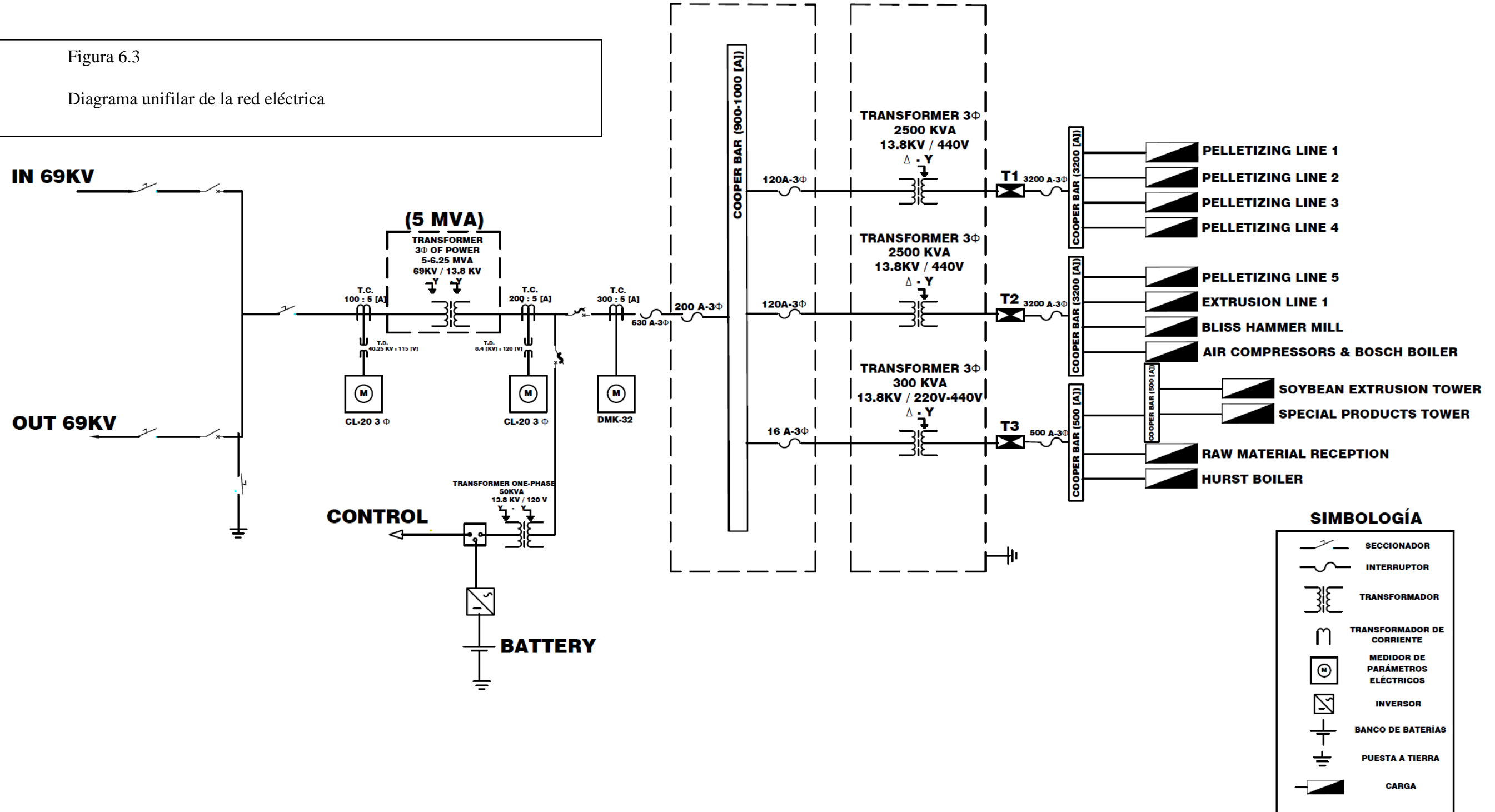
**Tabla 6.1**  
*Especificaciones técnicas de los transformadores de potencia*

Sistema de distribución eléctrica de la planta de alimentos								
Unidades	Marca	Potencia (kVA)	V ingreso	A ingreso	V salida	A salida	conexión en alta tensión	conexión en baja tensión
Trafo 1	Moretran	2500 kVA	13,2 kV	109 A	440/254 V	3280 A	Delta	Estrella
Trafo 2	Inatra	2500 kVA	13,2 kV	109 A	440 V	3280 A	Delta	Estrella
Trafo 3	Moretran	300 kVA	13,2 kV	13 A	440/254 V	395 A	Delta	Estrella

*Nota:* Elaboración propia

En la tabla 6.3, se muestran los bancos de transformación de media tensión 13,8 kV, se observa que la red utiliza tres transformadores de potencia trifásicos para los procesos de producción en la planta de alimentos. El transformador 1 y 2 se diferencian de la marca Moretran e Inatra tienen similares especificaciones técnicas con la capacidad de 2500 kVA, las características eléctricas son al ingreso el voltaje de es de 13,2 kV y la corriente de 109 amperios y en la salida él es de 440/254 V y las corrientes de 3200 amperios, la conexión es delta para alta tensión y estrella en baja tensión. El transformador 1 suministra electricidad para los procesos de peletizado, el transformador 2 suministra para los procesos de extruido, área de producción de aire comprimido y el transformador 3 alimenta a los procesos de almacenamiento de materias primas, líquidos y los sistemas de bombeo.

Figura 6.3  
Diagrama unifilar de la red eléctrica



En la siguiente tabla 6.2, se enumeran los sistemas de generación de planta con los que cuenta la planta de alimentos, existen dos calderos, el caldero Bosh fue montado e instalado con la nueva línea de producción la capacidad es de 10 toneladas de vapor; el caldero Hurst por ahora no está en operación, la capacidad de generación de vapor es de 3,1 toneladas. Cada caldero cuenta a la salida con su tanque manifold para distribuir a los diferentes puntos de consumo de los procesos de producción de la planta como son los principales para extruido y peletizado especialmente para los acondicionadores, post acondicionadores, calentamiento de líquidos y el secador.

**Tabla 6.2**  
*Sistema de generación de vapor de la planta de alimentos*

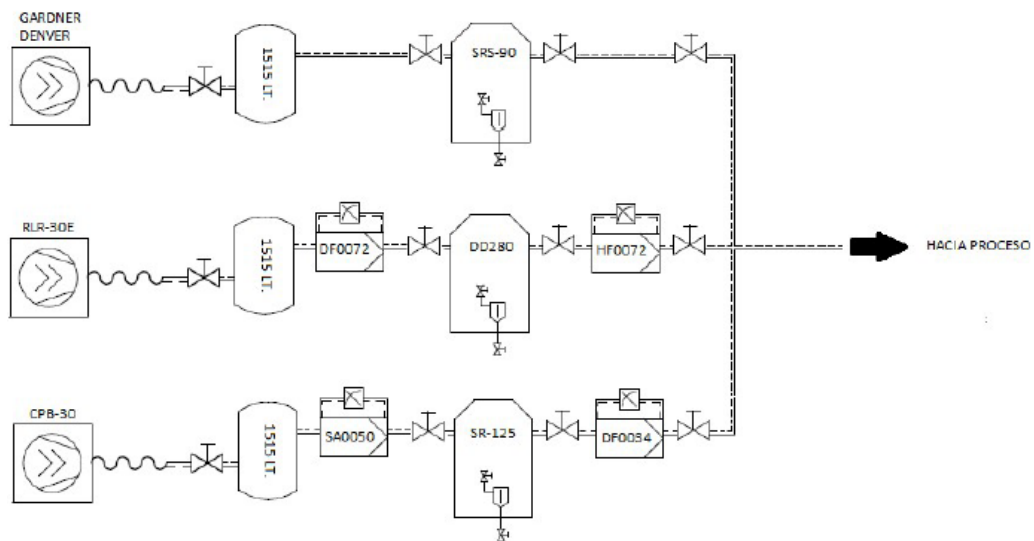
Sistema de generación de vapor	
Unidades	Capacidad (kg/h)
Caldero Hurst	3120
Caldero Bosh	10000

*Nota:* Elaboración propia

En la actualidad la planta de alimentos existe dos áreas para la generación de aire comprimido. En la figura 6.4 se observa la primera sala de la red de generación de aire comprimido de los procesos de producción, está conformado por tres sistemas cada compresor cuenta con válvulas, tanque de 1515 litros de almacenamiento, que además evita que se produzcan presiones bruscas en el encendido y apagado de los equipos compresores, posteriormente secadores para tratamiento del aire luego se instalan los filtro para prevenir impurezas afecten equipos. Los equipos de generación de aire comprimido son utilizados en los equipos de los procesos de producción como accionadores neumáticos y sistema de limpieza de mangas en los molinos.



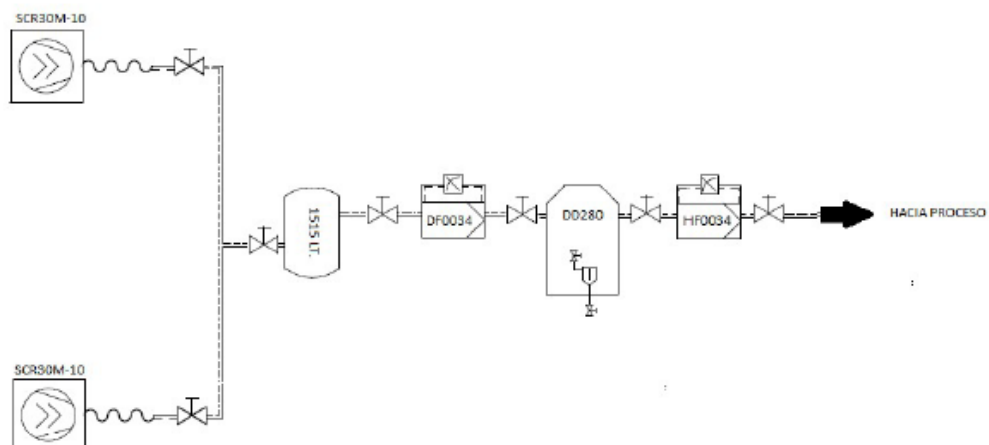
**Figura 6.4**  
Red de generación de aire comprimido N°1



Nota: Elaboración propia

En la figura 6.5, se observa la red de generación de aire comprimido N°2, cuenta con dos compresores, válvulas en la salida de cada uno, comparten un tanque de almacenamiento de 1515 litros de capacidad, además de filtros al ingreso y salida del secador. Es importante señalar que las dos áreas de generación de aire comprimido están conectadas entre sí para fortalecer toda la estructura de la distribución del uso del aire y evitar que la demanda pico exceda la oferta, en la práctica si acontece lo suscrito, se verán reflejados en varios problemas en los procesos de producción, generalmente como paralizaciones o productos defectuosos.

**Figura 6.5**  
Red de generación de aire comprimido N°2



Nota: Elaboración propia

La tabla 6.3, detalla las características técnicas de cada compresor de aire comprimido, los modelos Garden Denver, LRL-30E y CPB30 tiene la capacidad de 30 hp de producción y se encuentran ubicados en la sala número uno, mientras que en la segunda sala se compone de compresores modelos SCR30-10 con una capacidad de 30 hp cada uno.

**Tabla 6.3**

*Sistema de generación de aire comprimido de la planta de alimentos*

Sistema de generación de aire comprimido N°1	
Unidades	Potencia (hp)
Garden Denver	30
LRL-30E	30
CPB30	30
Sistema de generación de aire comprimido N°2	
SCR30-10	30
SCR30-10	30

*Nota:* Elaboración propia

## 6.2 Determinación del consumo energético

Para determinar los consumos de energía eléctrica, de vapor y aire comprimido, se realizó una revisión a los registros históricos de planillas o facturas, mediciones con instrumentos y auditorías realizadas a los procesos en la antigüedad. Se recopiló toda la información encontrada y se la organizó en documentos de Microsoft Excel para posteriormente, sea sujeta al análisis y a la evaluación de la información. Con los registros y la información también será posible calcular los indicadores de desempeño energético y establecer la línea base de desempeño.

### 6.2.1 Registros históricos del consumo de energía

Para obtener los registros históricos del consumo de energía de los procesos de producción de la planta de alimentos se revisan los archivos de las planillas que emite la empresa distribuidora y comercializadora de energía, se evidenciaron los archivos desde el año 2016, en la tabla 6.4, se muestran los registros de energía eléctrica de los últimos cinco años, se observa de manera clara el incremento que existe anualmente del consumo de electricidad, también algunos detalles como el incremento de la capacidad de producción en el año 2016 arranco la línea 4, se observa que en el año 2018 hay un mayor consumo de energía, sin embargo el costo

es menor que el año 2017, esto se define por una reducción de las tarifas por parte de la empresa distribuidora y comercializadora, en el año 2019 entro a operación la línea 5, es por ellos el incremento de casi un 20 % más del consumo, en el año 2020 hay una disminución posiblemente por efectos de la pandemia.

**Tabla 6.4***Registro anual del consumo de energía*

Año	Total (kWh)	Total (\$) kWh
2016	7416190	620935
2017	9210298	770000
2018	10475604	732839
2019	12121494	853446
2020	11767893	828925

*Nota:* Elaboración propia

En la tabla 6.5, se observan los consumos de energía eléctrica de los últimos doce meses, están separados por franja horaria para analizar y definir algunos hechos importantes. Se identifica que en los meses de marzo hasta mayo hay un importante consumo de energía eléctrica, sin embargo, desde los meses de junio hasta agosto existe una baja importante, el mes de julio se registra como el más bajo, así mismo es notable que a partir del mes de septiembre vuelve nuevamente a incrementarse paulatinamente hasta el mes de marzo del año actual, también se evidencia que aquel aumento representa aproximadamente un 25% más del consumo de enero.

**Tabla 6.5***Datos históricos consumo de energía eléctrica*

Mes	08h-18h L- V(kWh)	18h-22h L- V(kWh)	22h-08h L- V(kWh)	18h- 22hSDF	Total (kWh)	Total (\$) kWh
Marzo	461610,0	174705,0	530453,0	23797,0	1190565,0	84098,2
Abril	386040,0	151325,0	502810,0	19082,0	1059257,0	73732,6
Mayo	359618,0	146058,0	458160,0	21906,0	985742,0	69011,2
Junio	431324,0	174089,0	324564,0	3290,0	933267,0	69472,3
Julio	328148,0	62203,0	345169,0	2927,0	738447,0	51019,0
Agosto	365037,0	32722,0	387564,0	4874,0	790197,0	53542,7
Septiembre	433251,0	80082,0	431829,0	3650,0	948812,0	65947,2
Octubre	431279,0	131344,0	461603,0	10569,0	1034795,0	72810,0
Noviembre	394401,0	98033,0	321389,0	9110,0	822933,0	59355,3
Diciembre	491658,0	67215,0	434280,0	5314,0	998467,0	69853,7
Enero	551503,0	119210,0	524971,0	12987,0	1208671,0	85076,5
Febrero	520424,0	107584,0	776071,0	45725,0	1449804,0	96671,2
Marzo	604862,0	162388,0	724222,0	33316,0	1524788,0	105401,9

*Nota:* El Autor

Es importante señalar que la planta de procesos de producción de alimentos está catalogada por la empresa distribuidora como grande consumidor industrial con demanda de 4 horarios. En la tabla 6.6, se muestran los datos registrados del consumo de combustible de los procesos de producción de los últimos doce meses. El combustible utilizado es el oíl 2 o diésel derivado del petróleo, es utilizado en las calderas para generar vapor, mediante el calentamiento de agua, el recurso es necesario para la cocción y secado de los alimentos en el proceso.

Se evidencia que el mes de julio se registró el consumo más bajo de combustible, sin embargo, se observa que a partir del mes de diciembre el consumo de combustible se incrementa en casi un 70% por el arranque de operación del secador utilizado en la línea de extruido, conforme inicia la producción de la nueva línea, se nota el aumento de combustible que alcanza actualmente un 200% más que el promedio de los registros de los meses anteriores, es imprescindible acotar que los costos del combustibles son muy variables en cada mes.

**Tabla 6.6**  
*Datos históricos consumo de combustible*

Mes	Consumo de combustible (Gl)	Costo consumo de combustible (\$)
Abril	11166,8	23227
Mayo	9474,8	19166,6
Junio	8816,2	18165,8
Julio	7593,8	9894,7
Agosto	9878,8	12872
Septiembre	11138,6	15469,3
Octubre	14743,2	20556,3
Noviembre	11387,1	15879
Diciembre	16906,4	23821,2
Enero	24421,4	38580
Febrero	26633,4	44860,4
Marzo	27954,2	52426,4
Abril	31521,2	67077,2

*Nota:* El Autor

Luego de observar y realizar el análisis del importante crecimiento del consumo de combustible, es necesario determinar el máximo consumidor; ya los detalles de los registros de consumos y de puesta en marcha de nuevos equipos dicen suficiente información como para avanzar en importantes mejoras del diseño del sistema de generación y distribución de vapor.

## 6.2.2 Consumo energético en los procesos de producción

Mediante analizadores de red marca Lovato se realiza la instalación en cada red para determinar los consumos diarios de todos los procesos de producción con la que cuenta la planta de alimentos y así posteriormente la información y los datos puedan ser interpretados de una forma más amigable. En la tabla 6.7, se evidencia el registro de los consumos diarios de los procesos de mini extruido, peletización, extrusión, recepción y almacenamiento de materias primas y procesos especiales.

**Tabla 6.7**

*Registro del consumo de energía eléctrica de los procesos*

Fecha	Proceso mini extru (kWh)	Procesos especiales (kWh)	Proceso recepción (kWh)	Proceso de peletización (kWh)	Proceso extrusión (kWh)
2022-01-01	819	0	0	1047	0
2022-01-02	819	0	1619	43549	65
2022-01-03	893	0	1626	44241	16454
2022-01-04	819	0	2088	45985	16311
2022-01-05	1014	0	2113	45409	771
2022-01-06	945	0	1739	45649	103
2022-01-07	39	0	1472	43322	76
2022-01-08	0	0	1353	45659	58
2022-01-09	12	0	494	2902	3
2022-01-10	652	0	1602	45517	20943
2022-01-11	968	0	2054	48267	21833
2022-01-12	874	0	1978	47186	20332
2022-01-13	917	0	2392	49173	19993
2022-01-14	815	0	2527	49551	3873
2022-01-15	1	0	1016	23089	33
2022-01-16	0	0	917	49194	103
2022-01-17	872	0	2211	48787	19604
2022-01-18	735	0	1784	48100	19366
2022-01-19	807	0	1783	49347	18518
2022-01-20	859	0	2263	47758	6774
2022-01-21	785	23	2245	47198	116
2022-01-22	0	12	809	2049	0
2022-01-23	3	9	725	8601	20
2022-01-24	703	17	1656	47657	16008
2022-01-25	733	16	1540	47787	16334
2022-01-26	922	15	1856	53253	21801
2022-01-27	1163	16	1522	52524	20057
2022-01-28	611	16	1908	43747	12714
2022-01-29	3	39	568	1905	257
2022-01-30	8	10	287	1762	311
Total	18701	252	47475	1178734	288238

*Nota:* El Autor

Los resultados de las mediciones en los procesos de producción de la planta de alimentos se observan a peletización como el mayor consumidor de energía eléctrica con un promedio de 40000 kWh diarios y con un máximo de 53000 kWh, a continuación, se encuentra el proceso de extrusión con 19000 kWh y con el máximo de 21000 kWh diarios, los dos procesos serán estudiados a profundidad por motivo requieren mayor energía para los equipos. En la tabla 6.8, se muestran los consumos de vapor y combustible de los procesos de producción de peletizado y extrusión, que son los que demandan energía en forma de calor; para obtener datos de los consumos se instalaron medidores de vapor en las líneas o tuberías de cada proceso para obtener los datos.

**Tabla 6.8**  
*Consumos de combustible diarios de los procesos de producción*

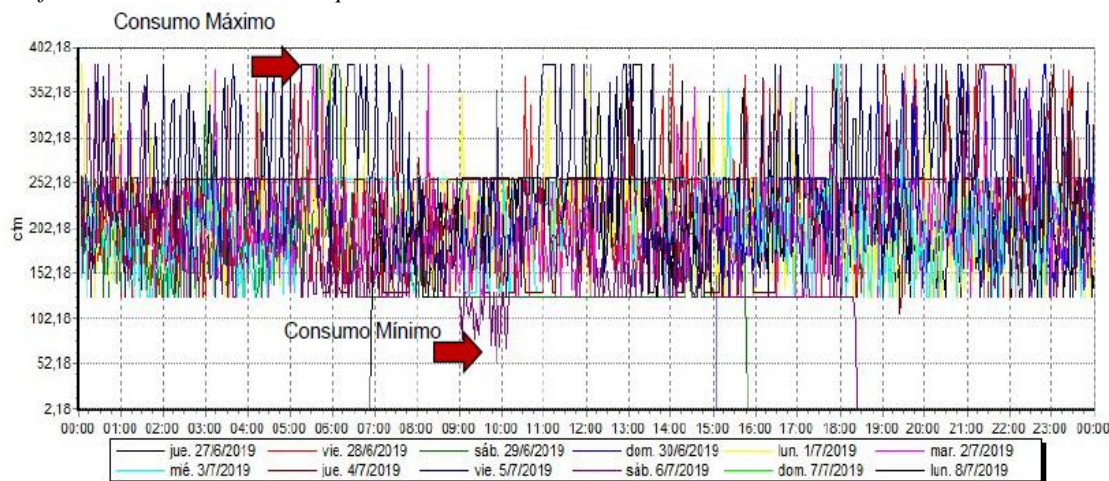
Fecha	Consumo de vapor peletizado (kg)	Consumo de vapor extrusado (kg)	Consumo combustible peletizado (US)	Consumo combustible extrusado (US)
2021-05-01	23910,00	12000,00	547,7	274,9
2021-05-02	3975,00	13000,00	273,9	895,8
2021-05-03	23940,00	54000,00	367,6	829,2
2021-05-04	25670,00	48000,00	497,3	929,9
2021-05-05	20978,00	42000,00	486,7	974,4
2021-05-06	27039,00	39000,00	626,7	904,0
2021-05-07	29093,00	31000,00	496,4	528,9
2021-05-08	27760,00	0,00	586,3	0,0
2021-05-09	0,00	0,00	0,0	0,0
2021-05-10	26594,00	29000,00	571,9	623,7
2021-05-11	26794,00	56000,00	478,7	1000,5
2021-05-12	22712,00	29000,00	533,4	681,1
2021-05-13	24536,00	22000,00	670,2	600,9
2021-05-14	28610,00	23000,00	858,5	690,2
2021-05-15	27171,00	6000,00	1391,8	307,3
2021-05-16	10860,00	24000,00	207,0	457,5
2021-05-17	27048,00	53000,00	270,8	530,6
2021-05-18	26114,00	46000,00	624,2	1099,6
2021-05-19	26839,00	35000,00	778,3	1014,9
2021-05-20	28277,00	64000,00	572,4	1295,5
2021-05-21	29398,00	17000,00	893,0	516,4
2021-05-22	25433,00	5000,00	1083,1	212,9
2021-05-23	0,00	0,00	0,0	0,0
2021-05-24	30685,00	4000,00	1333,6	173,8
2021-05-25	26722,00	45000,00	651,4	1097,0
2021-05-26	25511,00	38000,00	800,5	1192,5
2021-05-27	28286,00	60000,00	549,3	1165,2
2021-05-28	25819,00	120000,00	268,3	1246,8
2021-05-29	23578,00	56000,00	479,5	1138,8
2021-05-30	0,00	0,00	0,0	0,0
2021-05-31	16865,00	58000,00	366,8	1261,4
Total	690217,0	971000,0	17265,29	21643,73

*Nota:* El Autor

Para determinar el consumo de aire se instaló durante siete días para el registro, el analizador para auditorías energéticas marca Kaeser, en la figura 6.6, se observan los perfiles de carga de las diferentes áreas de compresores que suministran a los diferentes puntos de los procesos de producción.

**Figura 6.6**

*Perfil del consumo de aire comprimido sala 1*

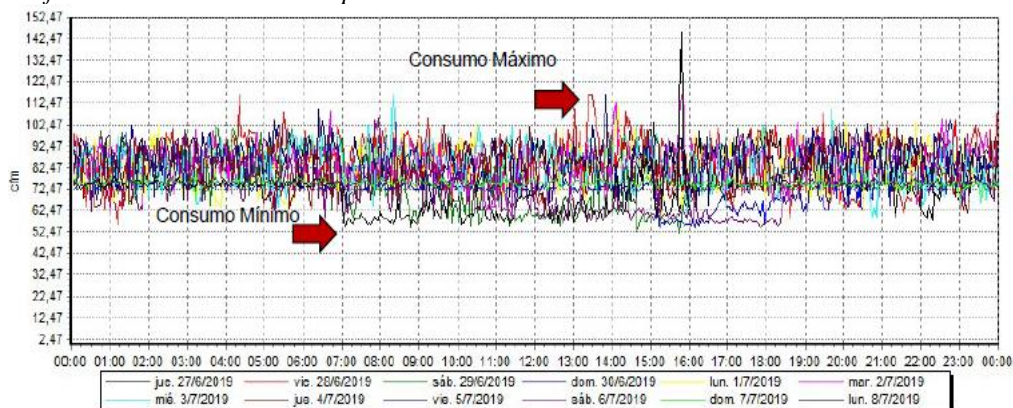


Nota: El Autor

La figura 6.7, muestra el perfil muestra el comportamiento de la planta durante los días de medición, se observa que la misma opera los siete días de la semana durante las 24 horas del día. Se muestra una demanda estable, la cual oscila entre los 60 CFM a los 116 CFM. No hay un ciclado del compresor ya que el mismo pasa encendido constantemente.

**Figura 6.7**

*Perfil del consumo de aire comprimido sala 1*



Nota: El Autor

## CAPITULO 7

### EFICIENCIA ENERGETICA EN LA PLANTA DE ALIMENTOS

#### 7.1 Análisis de la eficiencia energética de las redes

Para la intervención de la planta de alimentos en la recolección de la información y datos sujetos para el análisis y evaluación de los procesos de producción, se utilizaron diferentes instrumentos de medida que se describen más adelante en cada subtema. En la red eléctrica se midieron en cada uno de los transformadores parámetros de voltaje, factor de potencia, la demanda de la potencia y temperatura. Para la red de energía térmica se miden los parámetros de funcionamiento y operacionales de las calderas, así como también la temperatura de las tuberías de distribución y válvulas de condensado. En las redes de aire comprimido se instala sistema de medición de presión, mediante transmisores digitales se obtiene la información que luego se evaluará.

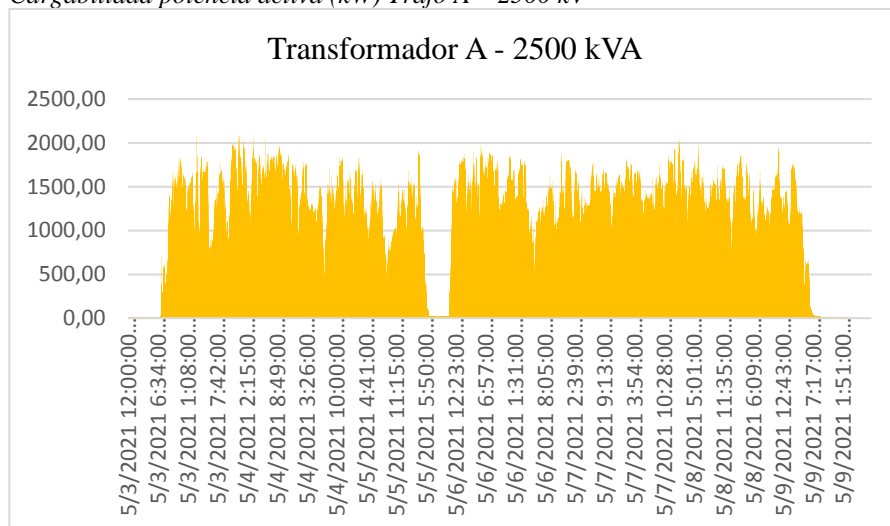
##### 7.1.1 Mediciones a los transformadores de la planta de alimentos

Los datos una vez obtenidos se descargan en formato Microsoft Excel, en las figuras 7.1, 7.2 y 7.3, se muestra la recolección de datos de la potencia activa (kW) que se efectuó desde los días 03 hasta 09 de mayo del año 2021, mediante el analizador de redes marca Lovato modelo dmG 500, los transformadores de corriente se instalan en el devanado secundario baja tensión de los transformadores de potencia A, B Y C al ingreso de los breakers principales de las barras de distribución de cargas, de debe tener en cuenta que las protecciones de los trafos A y B son de 3200 A, mientras que del trafo C es de 500 A. La capacidad de los tc instalados fue de 4000:5 en los transformadores de 2500 kVA y de 500:5 en el transformador de 300 kVA, con la finalidad de obtener los picos máximos que se originan al encender equipos importantes de los procesos de producción de la planta de alimentos. El transformador A distribuye a las cargas que están conformadas por los equipos de las cuatro líneas de los procesos de producción de peletizado, en la



figura del trafo A, se observa un pico de demanda de 2100 kW, el mínimo registrado fue de 875 kW y la carga promedio fue de 1500 kW.

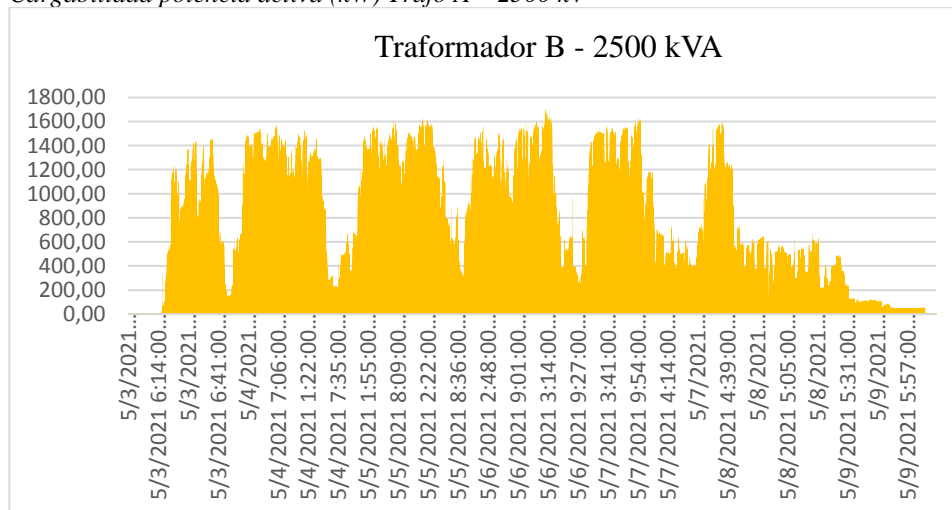
**Figura 7.1**  
Cargabilidad potencia activa (kW) Trafo A – 2500 kV



Nota: Elaboración propia

En la figura del transformador B, se conforma por varias cargas que son las siguientes la línea cinco de peletizado, la línea de extruido, el área de generación de aire comprimido, el área del caldero de generación de vapor. Durante las mediciones se registró que el proceso de producción de extruido paraba durante las horas de demanda y se registraba una carga mínima de 200 kW, las cargas pico se registraron en el día con un máximo de 1634 kW, con promedios de 1500 kW.

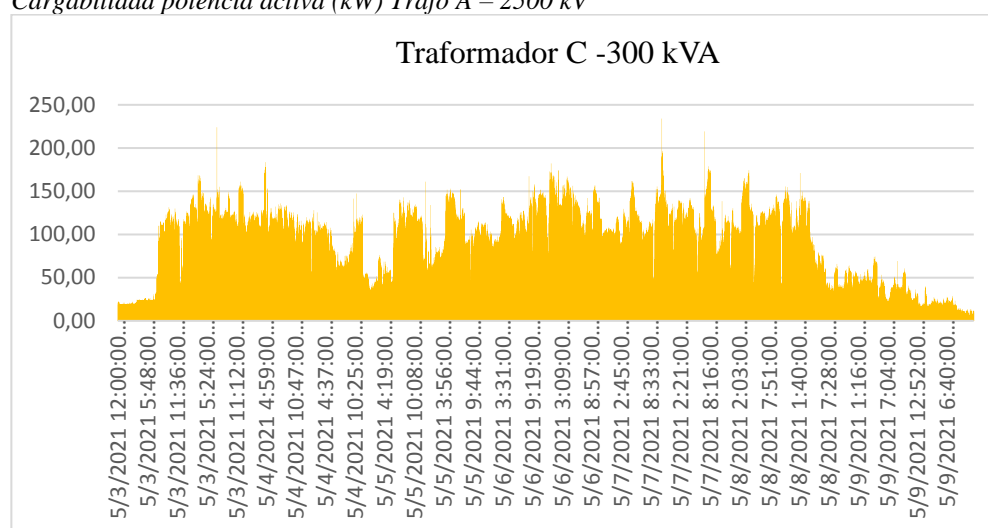
**Figura 7.2**  
Cargabilidad potencia activa (kW) Trafo A – 2500 kV



Nota: Elaboración propia

En el transformador C de 300 kVA, está distribuido para los equipos y las áreas de almacenamiento de materia prima, así como los procesos de producción de extrusora de soya, productos especiales y la producción de agua de osmosis inversa, en la figura se observa el comportamiento de la demanda, es irregular ya que hay equipos que no operan durante las 24 horas del día; se evidencian tres picos de corriente con el máximo de 234 kW, el mínimo es de 23 kW y el promedio de carga son 104 kW.

**Figura 7.3**  
Cargabilidad potencia activa (kW) Trafo A – 2500 kV

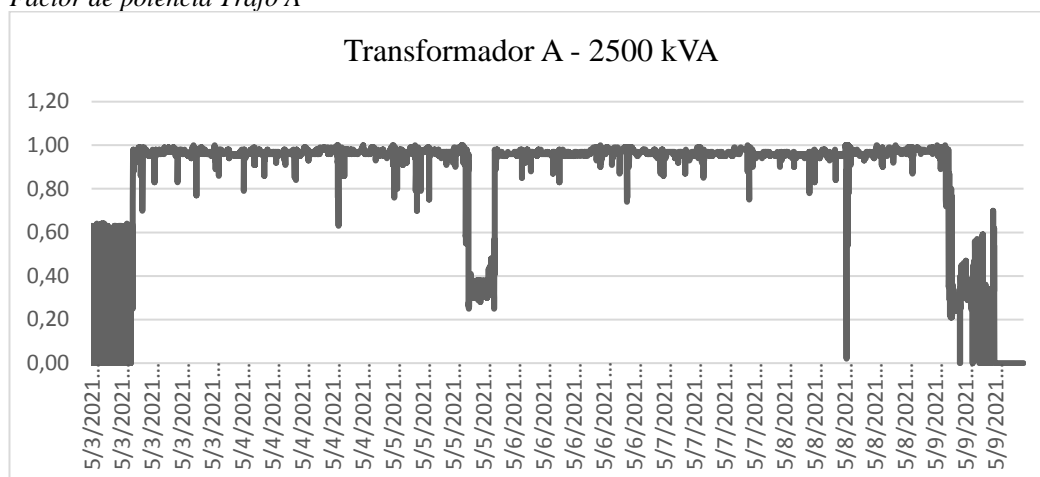


Nota: Elaboración propia

### 7.1.1 Mediciones del factor de potencia en los transformadores de la planta

En las siguientes figuras 7.4, 7.5 y 7.6, se observan los valores registrados de las mediciones, por los mismos analizadores de red, del factor de potencia en cada uno de los transformadores de potencia A, B y C de los procesos de producción de la planta de alimentos intervenida. En la figura 7.4, se observa el factor de potencia del transformador A, la cual se evidencia que es estable y está cercano a la unidad, sin embargo, se puede apreciar también que existen caídas del factor de potencia, probablemente por los arranques de motores de gran torque. Además, se evidencia que, en el transformador, el día 5 de mayo entre las 19:00 pm y las 23:00 pm el factor de potencia fue inferior a 0.40, lo que se deduce que el controlador automático para encendido y apagado de los condensadores estaba con fallos en el funcionamiento.

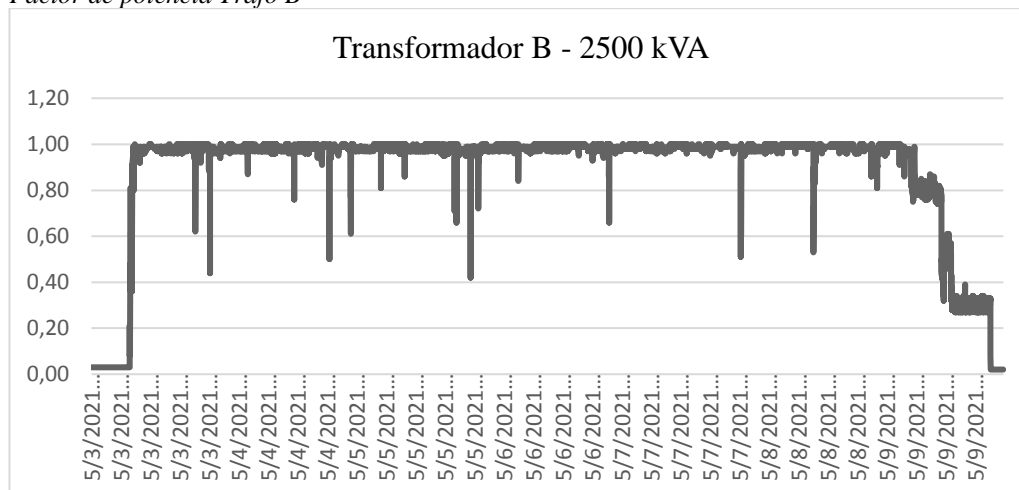
**Figura 7.4**  
Factor de potencia Trafo A



Nota: Elaboración propia

En la figura 7.5, se observa el factor de potencia del trafo B, la cual se evidencia que es estable y está cercano a la unidad, sin embargo, se puede apreciar que existen caídas del factor de potencia menores a 0,60 probablemente por los arranques de motores de gran inercia.

**Figura 7.5**  
Factor de potencia Trafo B

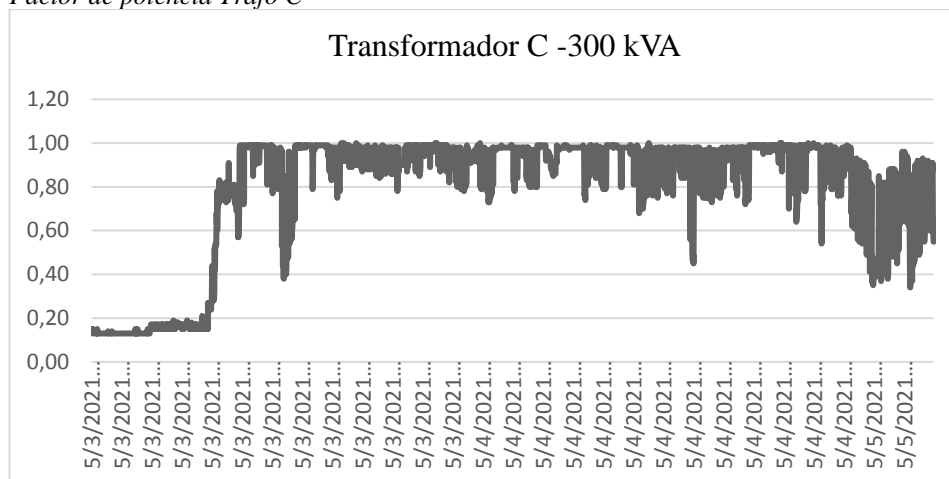


Nota: Elaboración propia

La figura 7.6, se observa el factor de potencia del transformador C, el mismo que se puede evidenciar que se encuentra inestable, incluso hay días donde estaba por debajo de 0.4, en la inspección se logró identificar que el controlador está funcionando en modo manual, la cual no permite que el factor de potencia se mantenga dentro de los valores recomendados, por el hecho de que está simulando un banco de capacitores

fijo y en dicho transformador existen varias cargas conectadas que son encendidas dependiendo de las necesidades de los procesos de producción de la planta de alimentos.

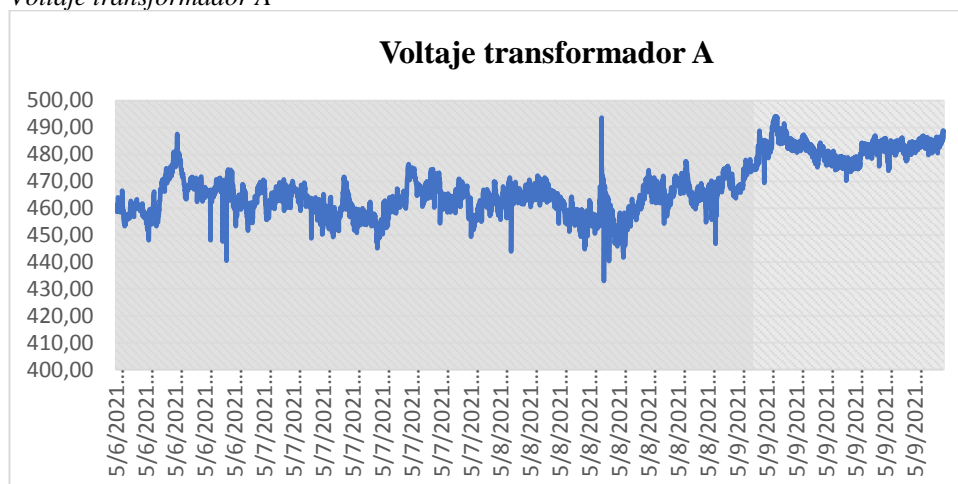
**Figura 7.6**  
*Factor de potencia Trafo C*



*Nota: El autor*

En la figura 7.7, se muestran los registros de voltaje que se descargan del analizador, se puede observar que el voltaje es variable en el transcurso de una semana, desde un máximo de 493 V hasta el mínimo de 432 V, cuando los procesos de producción son paralizados por lo general los fines de semana, el voltaje se evidencia que aumenta, los picos y los hundimientos de tensión se deben al arranque de los molinos de gran inercia.

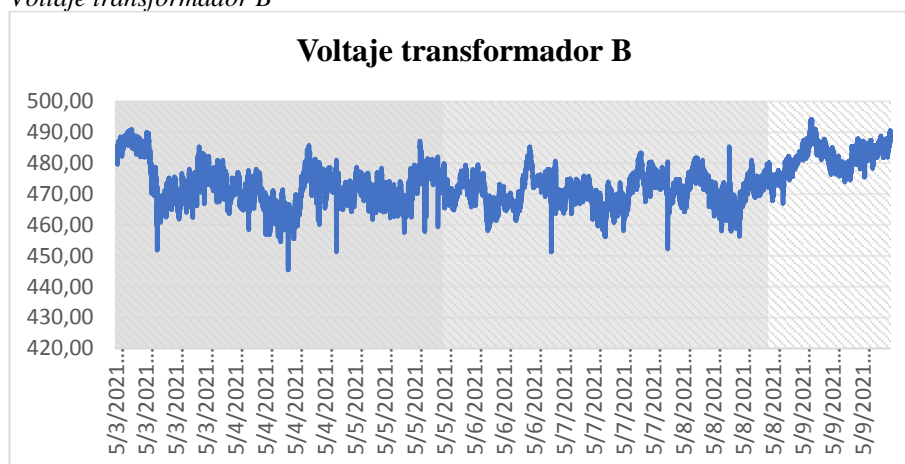
**Figura 7.7**  
*Voltaje transformador A*



*Nota: Elaboración propia*

De igual forma en la figura 7.8, se observan los registros de voltajes del transformador B de potencia, con el mismo efecto que el transformador A, la inestabilidad del voltaje se origina por cuestiones propias, internas o de las necesidades de los procesos de producción. Los voltajes máximos exceden los 490 V y los voltajes mínimos caen hasta los 445 V, quiere decir que el voltaje varía un  $\pm 5\%$ .

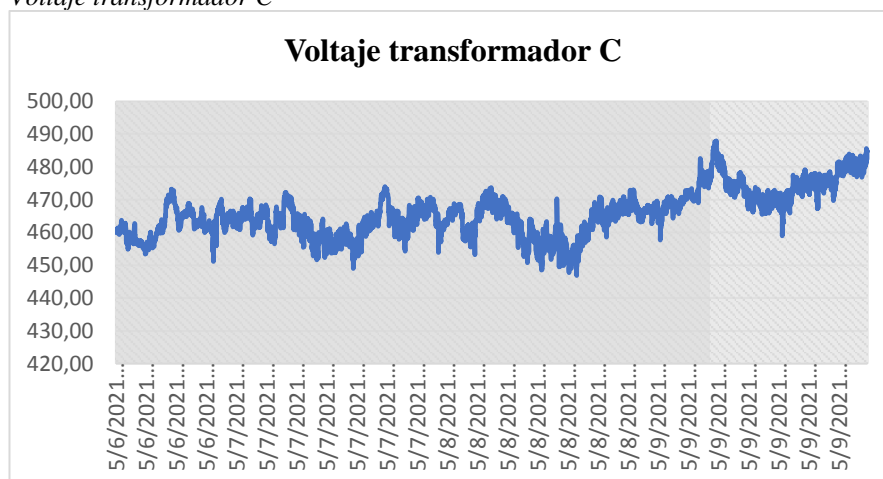
**Figura 7.8**  
Voltaje transformador B



*Nota: El autor*

La figura 7.9, se observan los registros del transformador de potencia C, la variación del voltaje no cambia con respecto a los transformadores A y B, tienen el mismo comportamiento de operación. El valor máximo registrado de voltaje fue de 483 V y el valor mínimo fue de 448 V, se deduce entonces que toda la red se ve afectada por las cargas variables de los procesos de producción.

**Figura 7.9**  
Voltaje transformador C



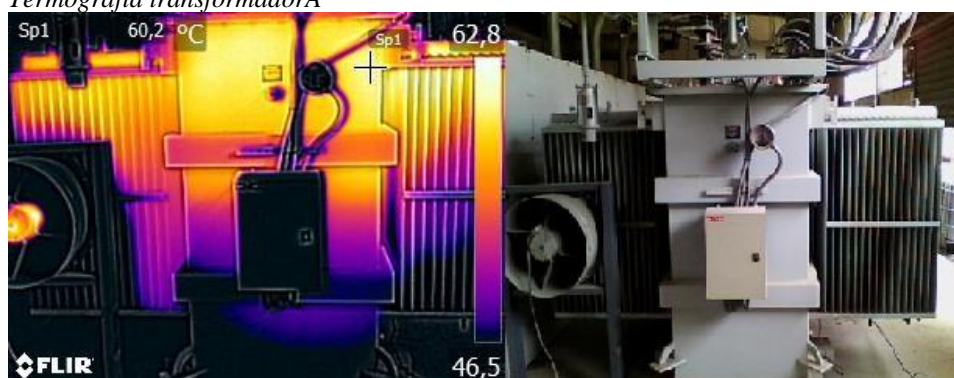
*Nota: El autor*

### 7.1.2 Análisis termográfico a los transformadores de la planta

Luego de analizar los valores y parámetros eléctricos más importantes, se realiza un análisis termográfico con la cámara marca FLIR, para diagnosticar y comprobar la operación en cuanto a temperatura. En la figura 7.10, se observa la termografía del transformador A de potencia, se registró un valor máximo de temperatura de 62,8 °C y un valor mínimo de 46,5 °C, no se observaron puntos calientes, los mismos que puedan poner el riesgo el transformador.

**Figura 7.10**

*Termografía transformador A*

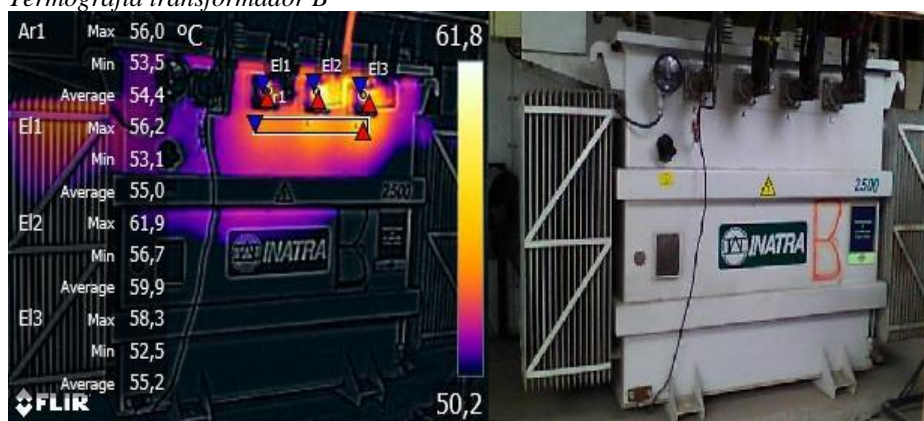


*Nota: El autor*

La figura 7.11, muestra el análisis termográfico del transformador B de potencia, se evidencia un punto caliente en la línea 2 del bushing del transformador con una temperatura máxima de 61,9°C. Es importante la revisión a fondo del transformador para evitar en el futuro fallos importantes en la máquina, aunque en promedio la temperatura es moderada.

**Figura 7.11**

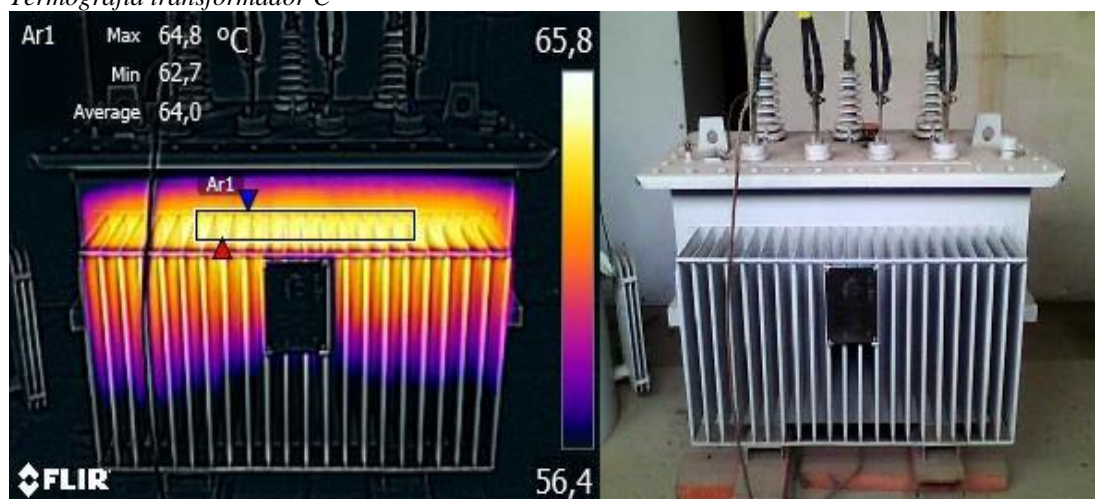
*Termografía transformador B*



*Nota: El autor*

La figura 7.12, se observa el análisis termográfico del transformador de potencia C, no se evidencian puntos calientes en la máquina, sin embargo, se encuentra operando con una temperatura promedio de 64°C, que son los valores nominales de temperatura que especifica el fabricante, es necesario la instalación de ventilación forzada para mejorar la temperatura del transformador, ya que los devanados del primario o secundario podrían sufrir efectos que reducen la vida útil de operación y además que aumentan las pérdidas de la red.

**Figura 7.12**  
Termografía transformador C



*Nota: El autor*

### 7.1.2 Análisis de los gases de la combustión caldera.

Para determinar la eficiencia de operación de la caldera se realizan mediciones de los gases de combustión de la caldera, la misma que tiene un régimen de funcionamiento de 24 horas, la altura es de 8 metros, la capacidad es de 600 BHP y el diámetro de interior es de 0.63 metros; el sitio de muestreo se localizó por lo menos cinco diámetros de la chimenea cuesta debajo de cualquier perturbación, no más cerca de un metro o tres diámetros de la chimenea corriente desde la descarga de gas a la atmosfera En la tabla 7.1, se muestran los valores obtenidos de las mediciones realizadas con el analizador de gases de la combustión marca Testo modelo 350. Los valores recomendados de la temperatura de humos están entre 130 °C a 170°C, las mediciones evidencian que están por arriba, con valores superiores se consigue pérdidas mayores por el calor sensible de los humos. Es recomendable que los valores del O<sub>2</sub> se encuentren de 2% a 6%, sin embargo, están por arriba del 8%.



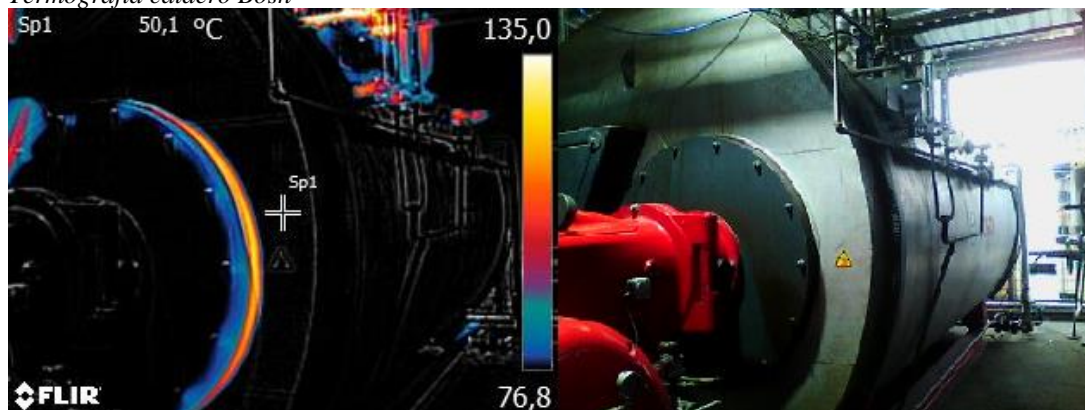
**Tabla 7.1***Medición de los gases de combustión*

Parámetro	Unidad	Valor medido
O <sub>2</sub>	%	8.6
CO	ppm	23.3
CO <sub>2</sub>	%	9.3
NO <sub>X</sub>	ppm	65.4
SO <sub>2</sub>	ppm	171.1
NO	ppm	65.4
NO <sub>2</sub>	ppm	0.0
Temperatura	°C	180
Temperatura ambiente	°C	31.6
Eficiencia	%	91.8
Caudal de la bomba	l/min	1.03

*Nota:* Fuente el autor

### 7.1.2 Análisis termográfico a las redes de distribución

Se ejecuta análisis termográfico al sistema de distribución de vapor que se utilizados en los procesos de producción de la planta de alimentos, con la finalidad de conocer oportunidades de mejora para la eficiencia energética. Con la cámara termográfica marca FLIR, se realiza la inspección a través de todos los equipos, componentes y elementos necesarios para generar y repartir el vapor hacia los procesos de producción como acondicionamiento de peletizado, extrusado y el proceso de secado. En la figura 7.13, se observa la termografía del caldero desde una vista lateral, en la cual, se puede evidenciar que el aislamiento térmico está en buenas condiciones ya que la temperatura se encuentra en 50°C, mientras que en la conexión del hogar con el quemador se evidencia con temperatura mayor a 135°C, esta diferencia de temperatura permite determinar que no hay perdidas por transferencia de calor.

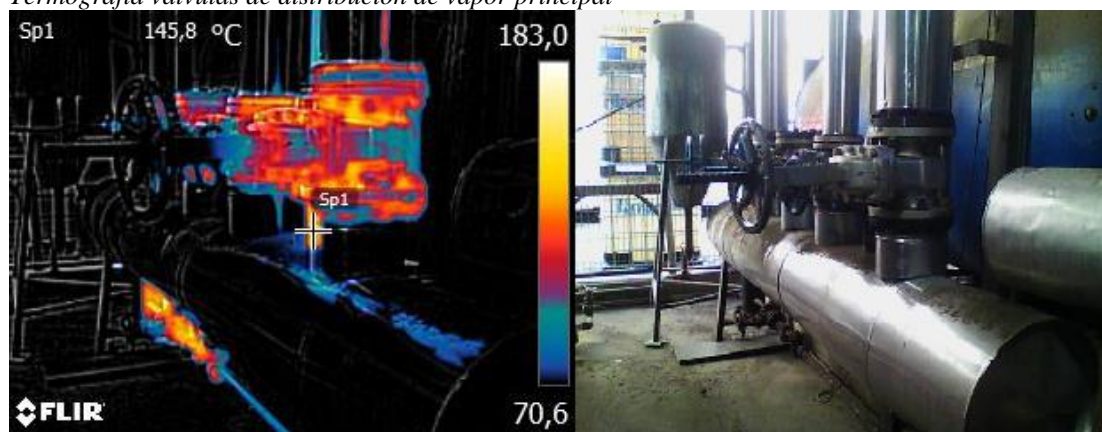
**Figura 7.13***Termografía caldero Bosh**Nota:* El Autor



En la figura 7.14, se muestran las válvulas principales de distribución a los diferentes procesos de producción de la planta de alimentos, donde se observa, que no cuentan con el respectivo aislante térmico para evitar las pérdidas, además, de que en estas circunstancias no son seguras para los procesos operacionales. Existen 4 válvulas de distribución, las mismas que tienen diferentes medidas, al proceso de peletizado se utiliza de 4" y en el proceso de extrusión de 6" ya que es el que más demanda de vapor en los procesos.

**Figura 7.14**

*Termografía válvulas de distribución de vapor principal*

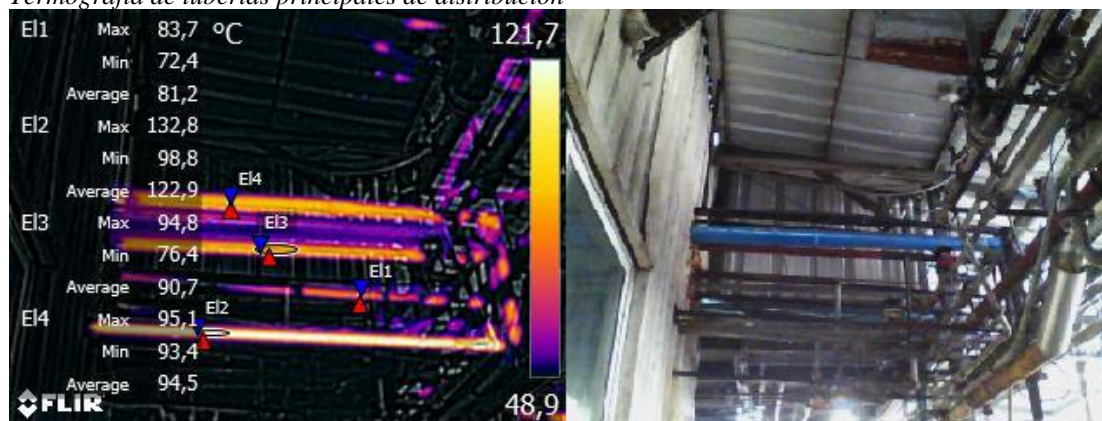


*Nota:* El Autor

En la figura 7.15, existen varias tuberías de vapor tanto de distribución como de recolección de condensado, mediante la termografía es posible la identificación rápida de tuberías que no cuentan con el aislante térmico, que en principio provocarían pérdidas. Se encontraron 4 tuberías de las cuales 2 son de retornos de condensado en la que la temperatura es de 80°C y 2 de vapor la temperatura es mayor a 120 °C.

**Figura 7.15**

*Termografía de tuberías principales de distribución*

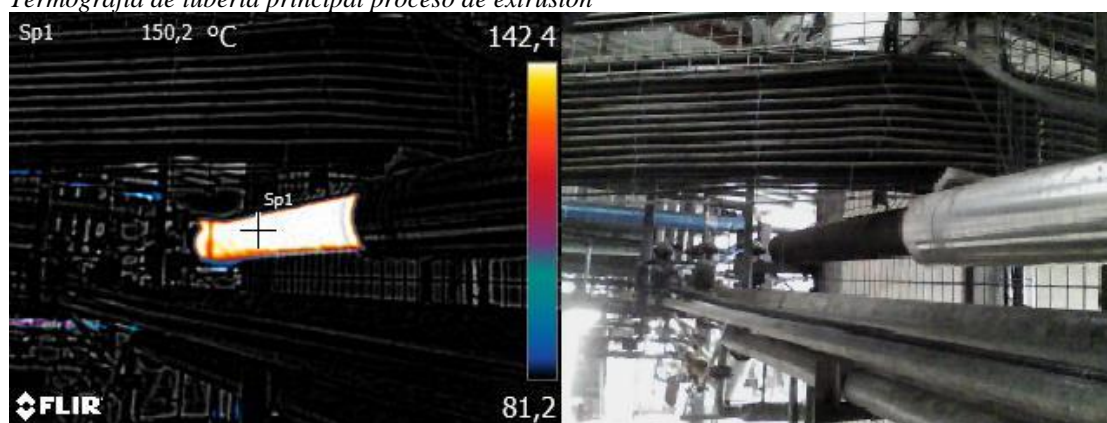


*Nota:* El Autor

En la figura 7.16, se evidencia la tubería principal del proceso de producción de extrusado, la cual se puede observar que tiene tres metros sin el aislante térmico permitiendo pérdidas energéticas en el sistema. La tubería principal tiene el diámetro de 6'; en la parte sin aislante, la temperatura detectada mediante la termografía es mayor a 140°C, hay que tomar en cuenta que la operatividad de los sistemas en las condiciones mostradas son de riesgo para el personal.

**Figura 7.16**

*Termografía de tubería principal proceso de extrusión*

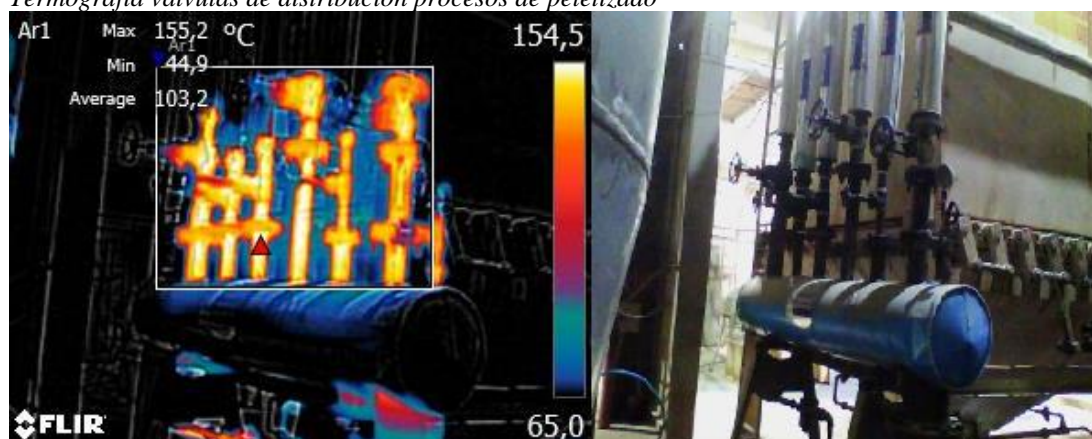


*Nota: El Autor*

En la figura 7.17, se muestran la distribución de vapor para los procesos de producción de post acondicionado de peletizado; en la termografía se observa, como por falta de aislante térmico en las válvulas, se producen pérdidas por estar en contacto con temperaturas ambientales. Las temperaturas que se registraron en los elementos de distribución son de 154 °C; cuentan con seis unidades de distribución, la primera línea es la de ingreso y a continuación se encuentran las de salida.

**Figura 7.17**

*Termografía válvulas de distribución procesos de peletizado*

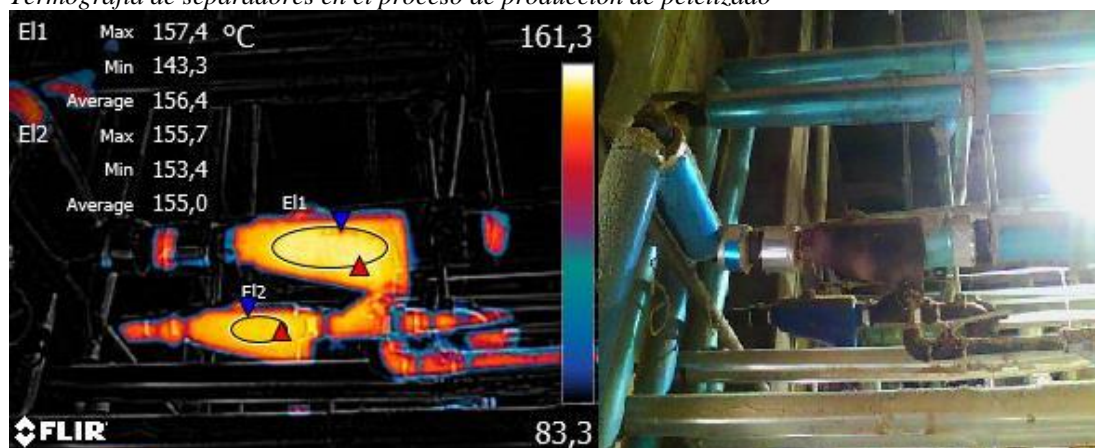


*Nota: El Auto*

A continuación, en los procesos de producción de acondicionado, son necesarios la instalación de cuadros de vapor o estaciones reductores de vapor, aquí se verifico mediante termografía que varios de los componentes no están aislados. En la figura 7.18, se muestran los separadores de condensado, existen cinco unidades las cuales no cumplen con las condiciones de aislamiento térmico adecuado, provocando pérdidas de energía en las líneas de distribución, las temperaturas máximas registradas son de 157 °C.

**Figura 7.18**

*Termografía de separadores en el proceso de producción de peletizado*



*Nota: El Autor*

En la figura 7.19, se muestra el segundo separador en la línea de distribución de baja presión, el componente también es llamado ciclón, ya que cumple la función de mejorar la calidad del vapor saturado eliminando el mayor número de condensado que recorre en la línea. La temperatura registrada es de 104°C en cada elemento.

**Figura 7.19**

*Termografía de separadores en el proceso de producción de extrusión*



*Nota: El Autor*



## 7.1 Eficiencia energética en los equipos de producción de la planta de alimentos

Para determinar la eficiencia energética se realizan la toma de lectura de corriente de trabajo de todos los motores eléctricos de los equipos de los procesos de producción de la planta de alimentos. La herramienta utilizada es un amperímetro de gancho marca fluke modelo 324 y los datos son cargados en una plantilla de Microsoft Excel donde se desarrollan los cálculos.

### 7.1.1 Análisis de la demanda de los equipos del proceso de producción peletizado

En la tabla 7.2, se muestra la demanda del proceso de recepción de líquidos aceites, el cual, está compuesto por siete tanques de almacenamiento cada uno con los agitadores, que mantienen oxigenado los aceites, de acuerdo con los parámetros de calidad establecidos. Para el almacenamiento y descarga de los líquidos, se utilizan sistemas de bombeo, en total son tres para diferentes viscosidades de productos. La demanda de energía del proceso de recepción de líquidos resulto ser 28.6 kW.

**Tabla 7.2**

*Demanda de energía eléctrica recepción materias primas N°1*

Recepción de materias primas N°1						
N°	Equipo	Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
1	Motor agitador 1	440	7,1	4	2,8	70
2	Motor agitador 2	440	10,7	5,5	2,8	51
3	Motor agitador 3	440	3	1,5	0,8	53
4	Motor agitador 4	440	7,2	4	1,8	46
5	Motor agitador 5	440	9,8	5,5	3,7	67
6	Motor agitador 6	440	9,8	5,5	5,5	100
7	Motor agitador 7	440	9,8	5,5	4,5	83
8	Motor agitador 8	440	3,2	1,5	1,2	83
8	Motor bomba 1	440	8,7	4	2,2	56
9	Motor bomba 2	440	8,2	4	2,3	58
10	Motor bomba 3	440	3,2	2,2	0,9	39
<b>Total</b>				<b>43,2</b>	<b>14</b>	

*Nota:* El Autor

Por otro lado, para la recepción de materias primas al granel o en harinas, se utilizan sistemas de transportación de diferentes características, que a su vez conducen las materias primas a su respectivo almacenaje y a los procesos de producción de la planta. En la tabla 7.3, se encuentra la lista de motores con la potencia y demanda.

**Tabla 7.3**  
*Demanda de energía eléctrica recepción materia prima N°2*

N°	Equipo	Recepción de materias primas N°1			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor rotativa 1	440	2,37	1,1	1,2	108
2	Motor rotativa 2	440	2,37	1,1	1,2	113
3	Motor rotativa 3	440	2,37	1,1	1,1	102
4	Motor rotativa 4	440	2,37	1,1	1,2	108
5	Motor rotativa 5	440	2,37	1,1	0,9	79
6	Motor rotativa 6	440	2,37	1,1	1,1	102
7	Motor rotativa 7	440	2,37	1,1	1,2	108
8	Motor transportador 1	440	4,4	2,2	1,4	64
9	Motor transportador 2	440	5,8	3	2,2	75
10	Motor transportador 3	440	7,6	4	3,2	81
11	Motor transportador 4	440	7,6	4	2,9	73
12	Motor transportador 5	440	7,2	4	4,4	111
13	Motor transportador 6	440	8,2	4,4	2,4	55
14	Motor transportador 7	440	7,9	4	2,6	66
15	Motor transportador 8	440	9,8	5,5	5,1	93
16	Motor transportador 9	440	9,8	5,5	4,0	73
17	Motor transportador 10	440	9,8	5,5	2,5	45
18	Motor transportador 11	440	10,4	5,5	2,4	44
19	Motor transportador 12	440	10,4	5,5	2,5	45
20	Motor transportador 13	440	10,4	5,5	2,5	45
21	Motor transportador 14	440	13,5	7,5	3,3	44
22	Motor elevador 1	440	9,8	5,5	3,7	68
23	Motor elevador 2	440	20	11	6,0	54
24	Motor elevador 3	440	13,7	7,5	4,2	57
25	Motor ventilador 1	440	29,7	18,5	12,5	67
26	Motor ventilador 2	440	21	15	9,4	62
27	Motor ventilador 3	440	13,7	7,5	6,9	92
28	Motor ventilador 4	440	13,7	7,5	6,9	92
29	Motor ventilador 5	440	13,7	7,5	6,9	92
30	Motor ventilador 6	440	13,7	7,5	6,9	92
31	Motor ventilador 7	440	13,7	7,5	6,9	92
32	Motor ventilador 8	440	13,7	7,5	6,9	92
33	Motor ventilador 9	440	13,7	7,5	6,9	92
34	Motor ventilador 10	440	13,7	7,5	6,9	92
35	Motor limpiadora 1	440	3,2	1,5	1,0	67
36	Motor transportador 15	440	13,5	7,5	5,3	71
37	Motor transportador 16	440	13,5	7,5	5,6	75
38	Motor transportador 17	440	13,5	7,5	5,1	68
39	Motor transportador 18	440	25	15	6,6	44
40	Motor transportador 19	440	25	15	6,4	42
41	Motor transportador 20	440	25	15	6,7	45
42	Motor transportador 21	440	25	15	6,6	44
43	Motor transportador 22	440	25	15	6,6	44
44	Motor transportador 23	440	25	15	6,4	43
45	Motor transportador 24	440	25	15	6,3	42
46	Motor transportador 25	440	25	15	6,8	45
47	Motor transportador 26	440	25	15	6,4	42
48	Motor transportador 27	440	25	15	6,4	43
49	Motor transportador 28	440	25	15	6,6	44
50	Motor transportador 29	440	25	15	6,7	45
51	Motor ventilador 11	440	13,7	7,5	6,9	92
52	Motor ventilador 12	440	13,7	7,5	7,0	93
53	Motor elevador 4	440	13,7	7,5	4,1	55
54	Motor elevador 5	440	13,7	7,5	4,4	58
55	Motor elevador 6	440	13,7	7,5	0,9	12
56	Motor ventilador 13	440	13,7	15	6,9	46
57	Motor ventilador 14	440	13,7	15	6,7	45
58	Motor ventilador 15	440	13,7	7,5	6,6	87
59	Motor ventilador 16	440	13,7	7,5	6,4	85
60	Motor ventilador 17	440	13,7	7,5	6,4	85
61	Motor limpiadora 2	440	4	1,5	1,4	92
				486,8	146	

Nota: El Autor

Se toma en cuenta para el cálculo de los procesos de producción de recepción de materias primas que los equipos no están encendidos todo el tiempo, debido a que operan únicamente cuando se almacena materia prima, los equipos de transportación que envían producto a los procesos de producción si están encendidos las 24 horas del día, la demanda de energía resulto ser 146 kW. En la tabla 7.4, se observa el levantamiento de cargas del proceso de dosificación y pesaje de materias primas y aditivos de la planta de peletizado, los equipos en general son transportadores de tipo sinfín, utilizados para dosificar automáticamente los ingredientes conforme lo establecido en la formula, los equipos encienden de forma aleatoria y no trabajan al mismo tiempo, la demanda de energía eléctrica es de 30.9 kW. Y la potencia total instalada es de 104 kW.

**Tabla 7.4***Consumo de energía eléctrica dosificación*

N°	Equipo	Dosificación de materias primas			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor transportador 1	440	7,2	4	2,8	70
2	Motor pulpo distribuidor	440	4,42	2,2	0,0	0
3	Motor transportador 2	440	4,42	2,2	1,2	57
4	Motor transportador 3	440	4,42	2,2	1,2	57
5	Motor transportador 4	440	4,42	2,2	1,2	57
6	Motor transportador 5	440	4,42	2,2	1,2	57
7	Motor transportador 6	440	4,42	2,2	1,2	57
8	Motor transportador 7	440	4,42	2,2	1,2	57
9	Motor transportador 8	440	3,06	1,5	0,9	62
10	Motor transportador 9	440	2,37	1,1	0,7	68
11	Motor transportador 10	440	2,37	1,1	0,7	68
12	Motor transportador 11	440	2,37	1,1	0,7	68
13	Motor transportador 12	440	3,06	1,5	1,1	71
14	Motor transportador 13	440	2,37	1,1	0,7	68
15	Motor transportador 14	440	5,77	3	2,4	79
16	Motor transportador 15	440	4,42	2,2	1,2	57
17	Motor transportador 16	440	4,42	2,2	1,2	57
18	Motor transportador 17	440	4,42	2,2	1,2	57
19	Motor transportador 18	440	4,42	2,2	1,2	57
20	Motor transportador 19	440	3,06	1,5	1,1	75
21	Motor transportador 20	440	3,06	1,5	1,1	71
22	Motor transportador 21	440	3,06	1,5	1,0	67
23	Motor transportador 22	440	3,06	1,5	1,1	71
24	Motor transportador 23	440	4,42	2,2	1,2	57
25	Motor transportador 24	440	4,42	2,2	1,2	57
26	Motor transportador 25	440	4,42	2,2	1,2	57
27	Motor transportador 26	440	4,42	2,2	1,2	57
31	Motor elevador	440	18	15	9,2	61
32	Motor homogenizado 1	440	35	22	12,5	57
33	Motor homogenizado 2	440	13,7	7,5	4,5	60
				<b>Total</b>	<b>104,5</b>	<b>30,9</b>

*Nota:* El Autor

En la tabla 7.5, se muestran los cálculos de la demanda del proceso de mezclado, el cual está conformado por bombas que permiten el ingreso de líquidos como aceites y agua. El mezclado es lugar donde se añaden automáticamente todos los ingredientes de la fórmula mediante pesos determinados. Los equipos que demandan mayor energía son las mezcladoras, que tiene motores de 22 kW, la corriente está dada por la operación de llenado del equipo. Los cálculos de la demanda total del proceso de mezclado son de 58.1 kW.

**Tabla 7.5**  
*Demanda de energía eléctrica proceso de mezclado*

Proceso de mezclado						
N°	Equipo	Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
1	Motor transportador 1	440	4.2	2,2	1,4	65
2	Motor transportador 2	440	5.8	3	2,4	81
3	Motor rotativo 3	440	2,5	1,1	0,7	68
4	Motor rotativo 4	440	2,95	1,5	1,3	87
5	Motor bomba de aceite 1	440	4,2	2,2	2,0	91
6	Motor bomba de aceite 2	440	4,2	2,2	1,9	88
7	Motor bomba de agua 1	440	9,5	5,5	2,4	43
8	Motor bomba de agua 2	440	9,5	5,5	2,8	51
9	Motor mezcladora 1	440	37	22	12,1	55
10	Motor mezcladora 2	440	37	22	12,5	57
11	Motor transportador 1	440	5,4	3	1,8	60
12	Motor transportador 2	440	9.8	5.5	4,1	135
13	Motor rotativo 3	440	2,95	1,5	1,2	83
14	Motor rotativo 4	440	2,95	1,5	1,2	83
15	Motor elevador 1	440	13,8	7,5	4,5	60
16	Motor elevador 2	440	20	11	5,6	51
				93,9	58,1	

*Nota:* Elaboración propia

En la siguiente tabla 7.6, se observan los cálculos de la demanda de energía de los procesos de molienda, existen cinco procesos de molienda y cinco procesos de pulverizado en la producción de alimento peletizado; cada proceso tiene asociados diferentes equipos, en el caso de molienda suman seis motores. El motor principal del molino es de 200 kW y el motor del pulverizador es de 160 kW, mediante las mediciones realizadas, se evidencia que por momentos los equipos trabajan con el amperaje de vacío, lo cual se determina que los equipos no están siendo aprovechados óptimamente, el efecto suele darse por cuellos de botellas o paradas imprevistas de los procesos de producción. Los cálculos totales de los procesos de molienda resultaron con la demanda de energía de 1234 kW, lo que define como el mayor consumidor en el proceso de producción de peletizado.

**Tabla 7.6**  
*Demanda de energía proceso de molienda*

N°	Equipo	Proceso de molienda			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor molino 1	440	310	200	48,4	24
2	Motor alimentador molino 1	440	2,5	1,5	0,7	44
3	Motor sin fin molino 1	440	0,96	0,37	0,6	152
4	Motor ventilators molino 1	440	35,9	22	14,4	65
5	Motor transportador molino 1	440	5,9	3	1,3	45
6	Motor elevador molino 1	440	7,9	4	1,4	35
7	Motor alimentador pulverizador 1	440	3	1,1	0,9	85
8	Motor pulverizador 1	440	250	160	38,6	24
9	Motor clasificador 1	440	19,4	11	0,7	7
10	Motor ventilador pulverizador 1	440	90	55	39,6	72
11	Motor barredor pulverizado 1	440	2,37	1,1	0,8	77
12	Motor rotativa pulverizado 1	440	4,42	2,2	1,3	60
13	Motor ciclon pulverizado 1	440	2,3	1,1	0,9	85
14	Motor molino 2	440	310	200	79,3	40
15	Motor alimentador molino 2	440	2,5	1,5	0,7	49
16	Motor sin fin molino 2	440	0,96	0,37	0,6	152
17	Motor ventilador molino 2	440	35,9	15	14,1	94
18	Motor transportador molino 2	440	5,8	3	2,0	67
19	Motor elevador molino 2	440	7,9	4	2,6	66
20	Motor alimentador pulverizador 2	440	2,47	1,1	0,7	62
21	Motor pulverizador 2	440	250	160	55,2	35
22	Motor clasificador 2	440	19,4	11	8,3	75
23	Motor ventilador pulverizador 2	440	90	55	45,2	82
24	Motor barredor pulverizado 2	440	2,37	1,1	0,8	70
25	Motor rotativa pulverizado 2	440	1,7	0,75	0,8	103
26	Motor ciclon pulverizado 2	440	2,4	1,1	0,6	57
27	Motor molino 3	440	310	200	100,8	50
28	Motor alimentador molino 3	440	1,5	0,75	0,7	92
29	Motor sin fin molino 13	440	0,96	0,37	0,6	152
30	Motor ventilador molino 3	440	20	15	8,5	57
31	Motor transportador molino 3	440	5,6	3	1,5	50
32	Motor elevador molino 3	440	7,9	4	2,7	67
33	Motor alimentador pulverizador 3	440	2,47	1,1	1,1	100
34	Motor pulverizador 3	440	250	160	59,3	37
35	Motor clasificador 3	440	19,4	11	8,8	80
36	Motor ventilador pulverizador 3	440	90	55	51,3	93
37	Motor rotativa pulverizado 3	440	2,95	1,5	0,9	60
38	Motor ciclon pulverizado 3	440	2,95	1,5	1,0	64
39	Motor molino 4	440	310	200	135,2	68
40	Motor alimentador molino 4	440	1,5	0,75	0,5	72
41	Motor sin fin molino 4	440	0,96	0,37	0,6	152
42	Motor ventilador molino 4	440	59,5	50	16,1	32
43	Motor transportador molino 4	440	5,9	3	2,2	73
44	Motor elevador molino 4	440	7,9	4	2,7	68
45	Motor alimentador pulverizador 4	440	3,5	1,5	1,1	74
46	Motor pulverizador 4	440	250	160	116,1	73
47	Motor clasificador 4	440	27	15	8,7	58
48	Motor ventilador pulverizador 4	440	90	55	37,9	69
49	Motor barredor pulverizado 4	440	2,3	1,1	1,3	121
50	Motor rotativa pulverizado 4	440	2,95	1,5	1,1	76
51	Motor ciclon pulverizado 4	440	3,2	1,5	0,9	62
52	Motor molino 5	440	310	200	137,3	69
53	Motor alimentador molino 5	440	2,5	1,5	0,6	37
54	Motor sin fin molino 4	440	0,96	0,37	0,6	152
55	Motor ventilador molino 5	440	35,9	15	14,9	99
56	Motor transportador molino 5	440	4,42	2,2	1,9	84
57	Motor elevador molino 5	440	5,6	3	1,9	62
58	Motor alimentador pulverizado 5	440	3,5	1,5	0,6	37
59	Motor pulverizado 5	440	250	160	98,0	61
60	Motor clasificador 5	440	27,5	15	3,6	24
61	Motor ventilador pulverizado 5	440	86	55	48,9	89
62	Motor barredor pulverizado 5	440	2,47	1,1	1,2	108
63	Motor rotativa pulverizado 5	440	4,42	3,2	1,5	46
64	Motor ciclon pulverizado 5	440	3,2	1,5	1,4	96
				2322,6	1234,2	

Nota: El autor



En la tabla 7.7, se observan los equipos del proceso de producción de peletizado, el cual comprende el corazón de la planta de alimentos, ya que aquí es donde se comprimen la mezcla o la masa de materias primas por la fuerza mecánica que existe entre del dado y rodillos, también llamada matriz, dando como resultados pequeños pelets de forma cilíndrica. El proceso cuenta con la tolva donde se almacena el producto para posteriormente, el alimentador que es un transportador sin fin, lo traslada hacia los acondicionadores que sirven para que el producto se mezcle con el vapor saturado, originando el desdoblamiento de los almidones y gelatinización de la masa. El proceso de producción de peletizado cuenta con cinco maquinas sumando un total de potencia instalada de 960 kW y una demanda de energía eléctrica de 568 kW, es importante observar que las cinco líneas no son iguales.

**Tabla 7.7**  
*Demanda de energía eléctrica proceso de enfriado*

N°	Equipo	Proceso de peletizado			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor barredor 1	440	13,2	7,5	5,4	72
2	Motor barredor 2	440	9,8	5,5	4,7	85
3	Motor barredor 3	440	9,8	5,5	4,7	85
4	Motor barredor 4	440	9,8	5,5	4,7	85
5	Motor barredor 5	440	9,8	5,5	4,7	85
6	Motor alimentador 1	440	3,5	1,5	1,1	71
7	Motor alimentador 2	440	3,2	1,5	0,6	37
8	Motor alimentador 3	440	1,5	0,75	0,7	92
9	Motor alimentador 4	440	2,9	1,5	0,5	33
10	Motor alimentador 5	440	3,2	1,5	0,7	50
11	Motor acondicionador 1.1	440	31	18,5	2,6	14
12	Motor acondicionador 1.2	440	20	11	6,2	57
13	Motor acondicionador 2.1	440	32	18,5	7,6	41
14	Motor acondicionador 2.2	440	9,8	5,5	3,5	64
15	Motor acondicionador 3.1	440	32	18,5	8,8	48
16	Motor acondicionador 3.2	440	8,7	4	1,9	47
17	Motor acondicionador 3.3	440	28	15	10,3	69
18	Motor acondicionador 3.4	440	28	15	4,4	29
19	Motor acondicionador 4.1	440	31	18,5	6,1	33
20	Motor acondicionador 4.2	440	8,7	4	5,8	145
21	Motor acondicionador 4.3	440	14,3	7,5	4,4	59
22	Motor acondicionador 5.1	440	31	15	6,8	45
23	Motor acondicionador 5.2	440	8,7	4	4,6	115
24	Motor acondicionador 5.3	440	8,7	4	1,7	44
25	Motor acondicionador 5.4	440	14,3	7,5	2,5	33
26	Motor acondicionador 5.5	440	14,3	7,5	4,5	60
27	Motor peletizadora 1	440	240	150	87,4	58
28	Motor peletizadora 2	440	240	150	112,4	75
29	Motor peletizadora 3	440	240	150	68,7	46
30	Motor peletizadora 4	440	240	150	96,7	64
31	Motor peletizadora 5	440	240	150	93,6	62
				960,25	568,1	59

Nota: El autor

En la tabla 7.8, se muestran los equipos del proceso de producción de enfriamiento; los equipos que prevalecen en el proceso y son además los que demandan mayor energía, son los ventiladores de contraflujo, ya que aspiran el aire del ambiente para que sea ingresado a la recámara donde permanece el producto y sea enfriado lentamente; dependiendo de las condiciones ambientales y del proceso los ventiladores son controlados por medio de variadores de frecuencia y sensores de temperatura, para mejorar la calidad de alimentos. Los cálculos de la demanda de energía son de 113 kW y la potencia instalada total es de 176 kW. Existe una diferencia en potencia del ventilador 2 con los otros cuatro equipos.

**Tabla 7.8**  
*Demanda de energía eléctrica proceso de enfriado*

N°	Equipo	Proceso de enfriado				
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
1	Motor válvula 1.1	440	2,3	1,1	0,8	77
2	Motor válvula 1.2	440	2,95	1,5	0,5	33
3	Motor válvula 1.3	440	2,3	1,1	1,2	113
3	Motor válvula 2.1	440	2,3	1,1	1,2	113
4	Motor válvula 2.2	440	2,95	1,5	1,2	83
5	Motor válvula 2.3	440	2,3	1,1	0,7	62
6	Motor válvula 3.1	440	2,3	1,1	0,9	79
7	Motor válvula 3.2	440	2,5	1,1	1,2	108
8	Motor válvula 3.3	440	2,3	1,1	0,9	79
9	Motor válvula 4.1	440	2,3	1,1	1,0	91
10	Motor válvula 4.2	440	1,7	0,75	0,7	100
11	Motor válvula 4.3	440	2,5	1,1	1,1	102
12	Motor válvula 5.1	440	2,5	1,1	1,1	102
13	Motor válvula 5.2	440	2,5	1,1	0,7	62
14	Motor válvula 5.3	440	2,3	1,1	1,1	102
15	Motor compuerta 1	440	2,4	1,1	0,6	57
16	Motor compuerta 2	440	2,4	1,1	1,3	119
17	Motor compuerta 3	440	2,4	1,1	1,2	108
18	Motor compuerta 4	440	3	1,5	1,7	112
19	Motor ventilador 1	440	38,5	22	6,2	28
20	Motor ventilador 2	440	56	30	22,5	75
21	Motor ventilador 3	440	36	22	10,9	49
22	Motor ventilador 4	440	36	22	14,4	65
23	Motor ventilador 5	440	36	22	16,9	77
24	Motor transportador 1	440	4,3	2,2	1,3	58
25	Motor transportador 2	440	7,35	4	2,8	70
26	Motor transportador 3	440	7,3	4	2,8	70
27	Motor transportador 4	440	4,2	2,2	1,6	74
28	Motor transportador 5	440	8,5	4,4	2,2	51
29	Motor elevador 1	440	7,3	4	2,3	58
30	Motor elevador 2	440	9,8	5,5	3,2	58
31	Motor elevador 3	440	7,3	4	2,3	58
32	Motor elevador 4	440	7,3	4	2,5	62
33	Motor elevador 5	440	4,2	2,2	1,9	88
			Total	176,3	113,1	

Nota: El autor

Cuando el alimento o el producto final está en condiciones y cumple las especificaciones de calidad, es transportado para que sea envasado o ensacado, es el punto final de los procesos de producción de la planta de alimentos. El proceso de ensacado de la planta de alimentos de peletizado está conformado por dos equipos; el primer equipo se utiliza para dos líneas y el segundo sirve para ensacar el producto terminado de las tres líneas más. La potencia total instalada en el proceso es de 18 kW y la potencia demandada es de 13.98 kW, tal como muestra la tabla 7.9.

**Tabla 7.9**  
*Demanda de energía eléctrica proceso de ensacado*

Proceso de ensacado						
N°	Equipo	Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
1	Motor transportador 1	440	6,4	3	2,1	69
2	Motor transportador 2	440	6,4	3	2,6	85
3	Motor transportador 3	440	6,4	3	2,9	98
4	Motor transportador 4	440	5,7	3	2,2	73
5	Motor transportador 5	440	5,7	3	1,7	58
6	Motor ensacador 1	440	2,95	1,5	1,2	83
7	Motor ensacador 2	440	2,95	1,5	1,2	83
Total				18	13,98	

Nota: *El autor*

Los resultados del análisis en los procesos de producción de la planta de alimentos de peletizado evidencian que no existe control sobre el funcionamiento de los equipos. Se pudo constatar que, durante ciertos tiempos, los equipos de mayor potencia permanecen encendidos en vacío sin producción, debido a que existen cuellos de botella que no permiten que la producción fluya según lo planificado y minimizando la eficiencia energética de la planta de alimentos. Se evidencia además que en la planta de alimentos de peletizado los procesos de molienda ocupan un 61% en la demanda de energía eléctrica, la peletización la demanda es del 28% y el 11% restante pertenece a mezclado, dosificación de materias primas y ensacado.

### **7.1.2 Análisis de la demanda de los equipos del proceso de producción extrusión**

Los procesos de producción de extrusión de la planta de alimentos son relativamente nuevos y forman parte del aprendizaje continuo, existe una línea de producción con todos los procesos a diferencia de peletizado, los alimentos extrusados requieren de un equipo secador, utilizado para disminuir la humedad de los piensos, ya que a la salida del extrusor el producto sale con alta humedad. Es importante señalar

que los líquidos no son añadidos junto a las harinas, sino, a través de una mezcladora con la bomba de vacío y cuando el pienso ya este fabricado. Para determinar la eficiencia energética de los equipos se utiliza el método de medición de corriente usando la herramienta del amperímetro marca fluke y los datos se tabulan en Microsoft Excel para realizar los cálculos. En la tabla 7.10, se observan la lista de equipos del proceso de producción de la dosificación de materias primas de alimentos extruidos, los cálculos de la demanda de energía resultaron 38.2 kW y la potencia total instalada es de 103 kW.

**Tabla 7.10***Demanda de energía eléctrica proceso de dosificación*

N°	Equipo	Dosificación de materias primas				Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	
1	Motor transportador 1	440	7,26	4	2,25	56
2	Motor pulpo distribuidor	440	1,6	0,75	0,56	75
3	Motor transportador 2	440	4,42	2,2	1,87	85
4	Motor transportador 3	440	4,42	2,2	1,75	79
5	Motor transportador 4	440	4,42	2,2	1,87	85
6	Motor transportador 5	440	4,42	2,2	1,75	79
7	Motor transportador 6	440	4,42	2,2	1,93	88
8	Motor transportador 7	440	4,42	2,2	1,87	85
9	Motor transportador 8	440	4,42	2,2	1,75	79
10	Motor transportador 9	440	4,42	2,2	1,87	85
11	Motor transportador 10	440	4,42	2,2	1,75	79
12	Motor transportador 11	440	4,42	2,2	1,93	88
13	Motor transportador 12	440	4,42	2,2	1,87	85
14	Motor transportador 13	440	4,42	2,2	1,75	79
15	Motor transportador 14	440	4,42	2,2	1,87	85
16	Motor transportador 15	440	4,42	2,2	1,75	79
17	Motor transportador 16	440	4,42	2,2	1,93	88
18	Motor transportador 17	440	4,42	2,2	1,87	85
19	Motor transportador 18	440	4,42	2,2	1,75	79
20	Motor transportador 19	440	4,42	2,2	1,87	85
21	Motor transportador 20	440	4,42	2,2	1,75	79
22	Motor transportador 21	440	2,95	1,5	1,37	92
23	Motor transportador 22	440	2,95	1,5	1,44	96
24	Motor transportador 23	440	2,95	1,5	1,25	83
25	Motor transportador 24	440	2,95	1,5	1,31	87
26	Motor transportador 25	440	2,95	1,5	1,37	92
27	Motor transportador 26	440	2,95	1,5	1,37	92
28	Motor transportador 27	440	2,95	1,5	1,25	83
29	Motor transportador 28	440	2,95	1,5	1,31	87
30	Motor transportador 29	440	2,95	1,5	1,37	92
31	Motor transportador 30	440	2,95	1,5	1,25	83
32	Motor transportador 31	440	2,95	1,5	1,37	92
33	Motor transportador 32	440	2,95	1,5	1,25	83
34	Motor transportador 33	440	2,95	1,5	1,44	96
35	Motor premezcladora 1	440	50	30	16,60	55
36	Motor elevador 1	440	13,5	7,5	4,99	67
				Total	103,55	38,26

Nota: *El autor*

En la tabla 7.11, se muestran los cálculos de la demanda de energía del proceso de molienda de la planta de alimentos de extruido que tienen también equipos incluidos como molinos y pulverizadores, se verifica que por el momento hay en operación una línea de producción, los resultados de los cálculos de la demanda de energía eléctrica son de 426 kW y la potencia instalada total es de 634 kW.

**Tabla 7.11***Demanda de energía eléctrica proceso de molienda*

N°	Equipo	Proceso de molienda			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor molino 1	440	385	250	168,53	67
2	Motor alimentador molino 1	440	2,23	1,1	0,94	85
3	Motor ventilador molino 1	440	50	30	17,48	58
4	Motor transportador	440	5,8	3	2,18	73
5	Motor rotativo 1	440	4,2	2,2	2,00	91
6	Motor alimentador	440	3,2	1,5	0,67	45
7	Motor pulverizador 1	440	385	250	156,05	62
8	Motor clasificador 1	440	34	18,5	11,55	62
9	Motor ventilador	440	116	75	65,00	87
10	Motor rotativo 2	440	2,95	1,5	1,00	67
12	Motor rotativo 3	440	2,95	1,5	1,00	67
				634,3	426,39	

Nota: *El autor*

En la tabla 7.12, se observan los equipos del proceso de producción de mezclado de la planta de alimentos extruidos, el resultado de los cálculos de la demanda de energía eléctrica es de 75,3 kW y la potencia total es de 284 kW. En la planta de alimentos extruidos existen dos tipos de mezclado, el primero comprende a la mezcla de harinas y el segundo al de los líquidos.

**Tabla 7.12***Demanda de energía eléctrica proceso de mezclado*

N°	Equipo	Proceso de mezclado			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor transportador 1	440	4,2	2,2	1,44	65
2	Motor 1 mezcladora	440	31	18,5	17,48	94
3	Motor 2 mezcladora	440	31	18,5	18,10	98
4	Motor transportador 1	440	7,2	4	2,31	58
5	Motor elevador 1	440	9,8	5,5	4,37	79
6	Ventilador 1	440	1,6	0,75	0,50	67
7	Ventilador 2	440	1,6	1,75	0,56	32
8	Motor mezcladora vacío	440	31,2	18,5	15,60	84
9	Bomba de vacío	440	32,2	185	15,60	8
10	Bomba 1	440	11,2	5,5	5,31	97
11	Bomba 2	440	11,2	5,5	5,25	95
12	Bomba 3	440	13,4	7,5	7,02	94
13	Bomba 4	440	19,3	11	6,87	62
				284,2	75,31	

Nota: *El autor*

En la siguiente tabla 7.13, se observan los equipos de los procesos de extrusión, está conformada por dos alimentadores de 3 y 4 kW respectivamente, 3 acondicionadores de 18,5 kW y dos de 30 kW, el motor principal del extrusor es de 450kW y es el equipo de mayor potencia eléctrica de todos los procesos de producción de la planta de alimentos. Los resultados de la demanda de energía eléctrica son 416 kW y la potencia total es de 544 kW.

**Tabla 7.13**  
*Demanda de energía eléctrica proceso de extrusión*

N°	Equipo	Proceso de extrusión			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor barredor 1	440	7,2	4	2,56	64
2	Motor alimentador 1	440	5,6	3	2,75	92
3	Motor alimentador 2	440	7,2	4	2,37	59
3	Motor acondicionador 1	440	32,5	18,5	11,24	61
4	Motor acondicionador 2	440	51	30	16,23	54
5	Motor acondicionador 3	440	51	30	15,60	52
6	Motor extrusor 1	440	840	450	362,03	80
7	Motor bomba 1	440	2,23	1,1	1,08	98
8	Motor bomba 2	440	2,23	1,1	1,00	91
9	Motor bomba 3	440	5,45	3	2,12	71
				544,7	416,98	

Nota: *El autor*

En la tabla 7.14, están los equipos eléctricos del secado, el cual consta en gran parte de ventiladores centrífugos que se encargan de recircular el aire caliente para retirar humedad del alimento. Los cálculos de la demanda de energía son de 96,95 kW y la potencia instalada es de 207,67 kW, los ventiladores tienen arrancador con variador de frecuencia lo que permite mejorar el control de flujo.

**Tabla 7.14**  
*Demanda de energía eléctrica proceso de secado*

N°	Equipo	Proceso de secado			Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]		
1	Motor tambor 1	440	1,2	0,75	0,37	50
2	Motor ventilador 1	440	108	75	33,71	45
3	Motor ventilador 2	440	108	75	28,71	38
3	Motor ventilador 3	440	48,1	45	24,97	55
4	Motor rotativo 1	440	1,09	0,37	0,36	98
5	Motor rotativo 2	440	1,09	0,37	0,29	77
6	Motor rotativo 3	440	1,09	0,37	0,23	62
7	Motor rotativo 4	440	1,09	0,37	0,46	123
8	Motor rotativo 5	440	1,09	0,37	0,34	93
9	Motor rotativo 6	440	1,09	0,37	0,34	93
10	Motor elevador 1	440	13,5	7,5	5,62	75
11	Motor bomba 1	440	4	2,2	1,56	71
				207,67	96,95	47

Nota: *El autor*

En la tabla 7.15, se observa los cálculos de la demanda de energía eléctrica de los procesos de producción del enfriamiento para la planta de alimentos de extrusión, está conformada por equipos principalmente por un ventilador, una bomba hidráulica que transfiere trabajo para abrir la compuerta de la descarga y transportador y elevadores que llevan el producto final al siguiente y último proceso que es el ensacado. Los resultados de la demanda de energía son de 30,56 kW y la potencia total instalada es de 62 kW. El motor del ventilador cuenta con arrancador tipo variador de frecuencia el cual mejora el control del flujo de aire

**Tabla 7.15***Consumo de energía eléctrica proceso de enfriado*

N°	Equipo	Proceso de enfriado				
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
1	Motor rotativo 1	440	1,09	0,37	0,29	77
2	Motor rotativo 2	440	1,09	0,37	0,31	84
3	Motor rotativo 3	440	1,09	0,37	0,31	84
4	Motor rotativo 4	440	1,09	0,37	0,31	84
5	Motor ventilador 1	440	48,7	54	24,97	46
6	Motor bomba 1	440	4	2,2	1,31	60
7	Motor transportador 1	440	2,95	1,5	1,19	79
8	Motor elevador 1	440	5,6	3	1,87	62
				62,18	30,56	

Nota: *El autor*

En la tabla 7.16, se observan los equipos del final de los procesos de producción de la planta de alimentos de extrusados, el ensacado cumple una función importante para la calidad y satisfacción de los clientes, pues debe manejarse con estrictos estándares y buenas prácticas, la demanda de energía eléctrica es relativamente pequeña, los resultados de los cálculos de la demanda son de 80.5 kW.

**Tabla 7.16***Consumo de energía eléctrica proceso de ensacado*

N°	Equipo	Proceso de ensacado				
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	Eficiencia (%)
1	Motor transportador 1	440	6,4	3	3,00	100
2	Motor transportador 2	440	6,4	3	3,00	100
3	Motor 1 ensacadora	440	1,2	0,75	0,44	58
4	Motor 2 ensacadora	440	1,2	0,75	0,50	67
5	Motor 3 ensacadora	440	1,2	0,75	0,56	75
6	Motor 4 ensacadora	440	1,2	0,75	0,56	75
				9	8,05	

Nota: *El autor*

## CAPÍTULO 8

### EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PLANTA

En el capítulo 8, se muestran el análisis y la evaluación de los procedimientos de la eficiencia energética, de la información obtenida de los procesos de producción de la planta de alimentos de los capítulos 6 y 7. Se realiza un resumen de los mayores consumidores, las tendencias de las líneas base de los consumos de energía y la evaluación económica de las oportunidades de mejora para los procedimientos de la eficiencia energética en la planta de alimentos, utilizando indicadores del valor actual neto, retorno de la inversión y el payback.

#### 8.1 Análisis del consumo energética de los procesos de producción

Mediante los datos obtenidos de consumos históricos, mediciones por medio de analizadores de red en los transformadores, flujómetros y análisis de las demandas de energía, se analizó los mayores consumidores de energía eléctrica y térmica, los cuales son expuestos por medio de figuras de pasteles desarrolladas en microsoft excel, para mejorar la ilustración y el entendimiento de las personas interesadas a la eficiencia energética de las plantas de alimentos; también se calculan las líneas bases de energía o los límites en los cuales es lo apropiado.

##### 8.1.1 Balance energético de la planta de alimentos

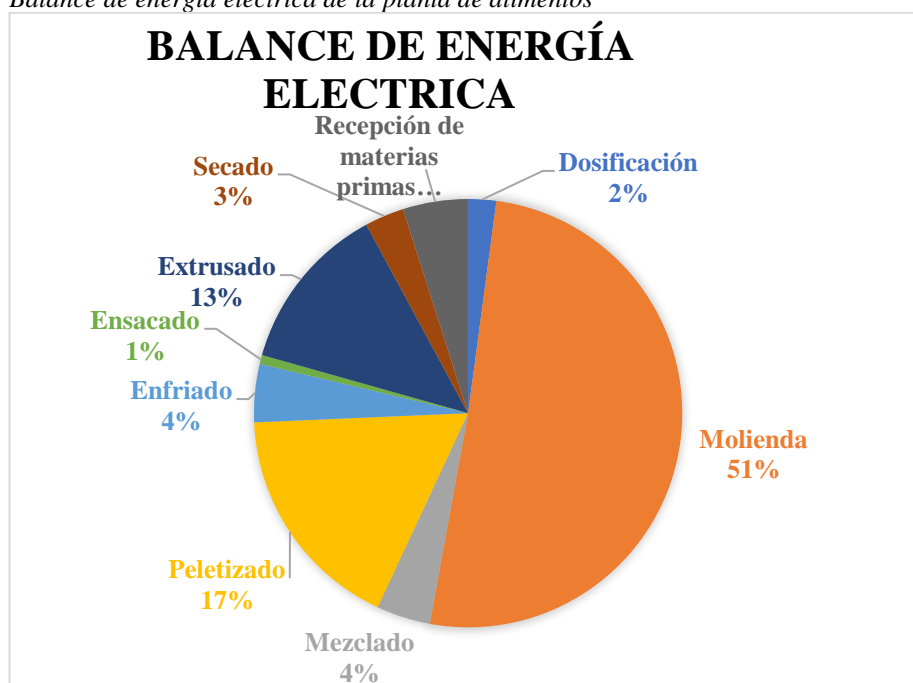
Es importante que, mediante la intervención de los procesos de producción de la planta de alimentos y el levantamiento de la información, pasar al segundo plano de planificación y para llegar ahí, se debe conocer o analizar, cuales o donde están las oportunidades de mejora; lo más practico es iniciar por saber cuáles son los mayores consumidores de energía; para aquello y para evidenciarlo se figuran mediante ilustraciones tipo pastel realizadas en Microsoft Excel. En la figura 8.1, se observa el balance de energía eléctrica de todos los procesos de producción de la planta de alimentos, en la cual se puede evidenciar que los procesos de molienda son los mayores consumidores con 50%, quiere decir que la mitad de la energía eléctrica se debe



suministras para cubrir la demanda de la molienda, en segundo lugar, está el proceso de peletizado con un 17% del consumo, seguido viene el proceso de extrusión con el 14% del consumo, más atrás se encuentra el proceso de la recepción de materias primas con un 5% y finalmente el 14% que resta esta compartido entre los diferentes procesos de producción de secada, enfriado, mezclado, dosificación de materias primas y producto terminado o ensacado.

**Figura 8.1**

*Balace de energía eléctrica de la planta de alimentos*

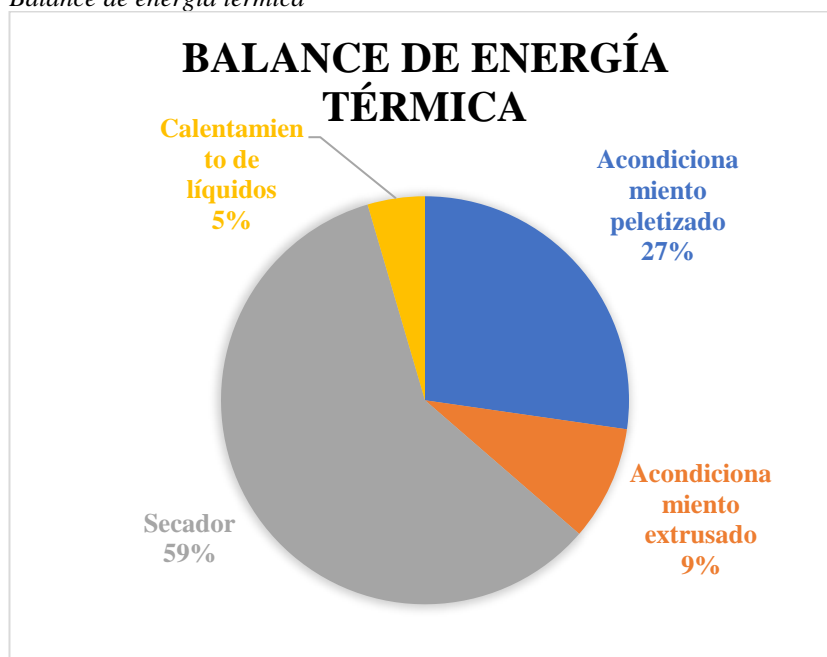


Nota: *El autor*

En la siguiente figura 8.2, se muestra el balance de energía térmica utilizada en los procesos de producción de la planta de alimentos. La información se obtuvo a través de medidores de flujo de vapor explicados anteriormente. El recurso utilizado como energía es el vapor saturado que es generado en calderas, se emplea principalmente para la humectación o cocción de la masa de harinas, además para intercambiadores o transferencia de calor para materias primas.

Los resultados evidencian como al mayor consumidor al proceso de producción del secado con un 59%, en segundo lugar, al proceso de acondicionamiento de peletizado con un 27% y a continuación con un 9% al acondicionamiento de extrusado el restante es suministrado en intercambiadores de calor.

**Figura 8.2**  
Balance de energía térmica



Nota: El autor

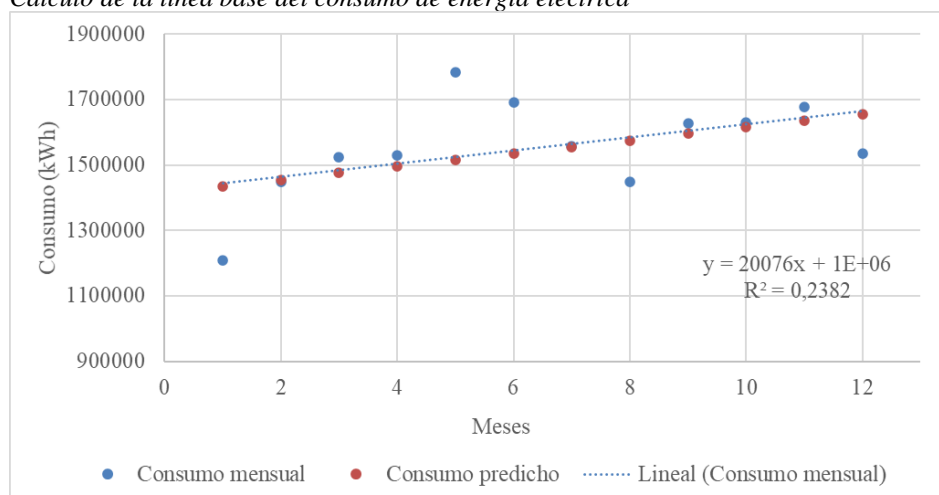
### 8.1.2 Cálculo de la línea base

Para los cálculos de la línea base para el consumo y para los indicadores energéticos son realizados en Microsoft Excel, mediante el registro de consumos de energía eléctrica y térmica de cada mes del último año se tabulan en la plantilla, además en una columna también se registran los valores de la producción de cada mes, con esta información se obtienen los indicadores energéticos, que no es más que dividir los consumos de energía sobre la producción total. Para la línea base se utiliza un gráfico de dispersión y se seleccionan los datos, luego para determinar la tendencia se emplea la interpolación automática de Microsoft Excel, la misma que otorga una ecuación de la recta, la cual permite referenciar los puntos que están sobre la línea.

En la figura 8.3, se muestra el cálculo de la línea base para el consumo de energía eléctrica, se evidencia además la fórmula para la comparación entre el consumo mensual y el consumo predicho, la recta entrecortada corresponde a la línea base. Se observa que hay meses, como por ejemplo los puntos 5 y 6, en los que el consumo está por muy por arriba de la tendencia, por el contrario 8 y 12 en los que se observa que el consumo está por debajo de la línea base.

**Figura 8.3**

Cálculo de la línea base del consumo de energía eléctrica

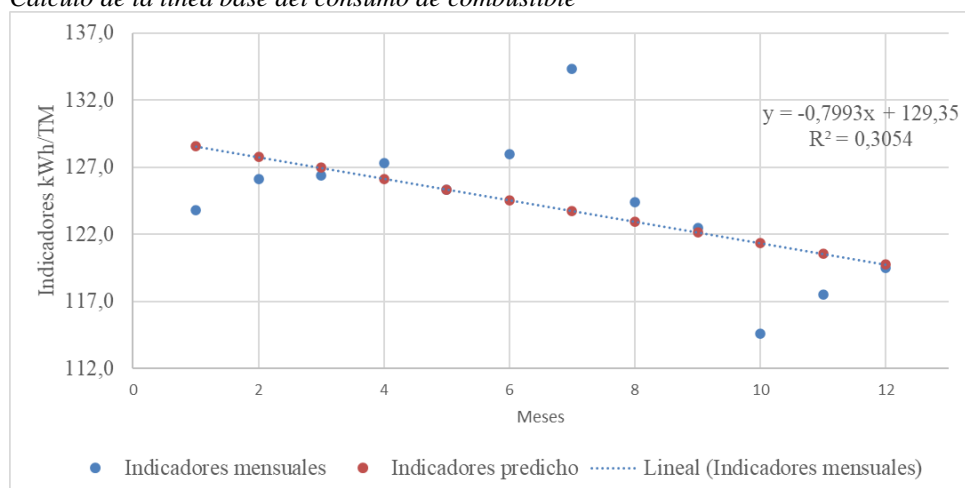


Nota: El autor

En la siguiente figura 8.4, se muestra los cálculos de los indicadores de energía eléctrica versus toneladas de producción, se observa que la recta tiene forma descendente, por el hecho de que se refiere al indicador de energía, misma que la tendencia siempre debe ser a la reducción de energía por cada tonelada de producción, existen meses como por ejemplo el 5 y el 6 donde esta por arriba de la línea base, se puede definir como meses que fueron ineficientes.

**Figura 8.4**

Cálculo de la línea base del consumo de combustible



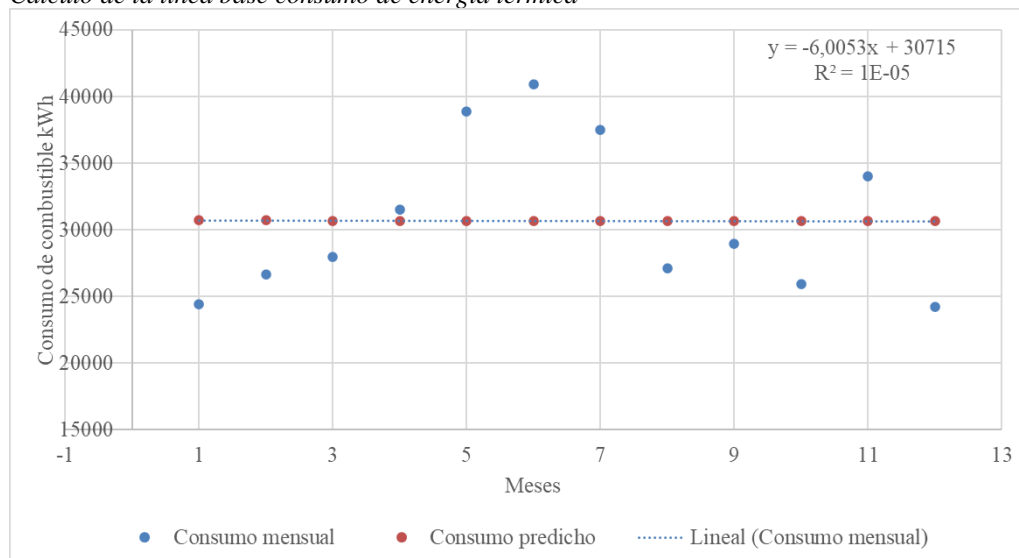
Nota: El autor

En la figura 8.5, se observa la línea base del consumo de energía térmica, la cual se la transformo a kWh multiplicando el consumo de galones por 40,7 kW. Se

evidencia que los meses 5, 6 y 7 están por arriba de la línea base y a partir del mes 8 se muestran los consumo por debajo de la recta, e mes 11 vuelve a estar por arriba, mientras que el mes 12 está por debajo nuevamente.

**Figura 8.5**

*Cálculo de la línea base consumo de energía térmica*

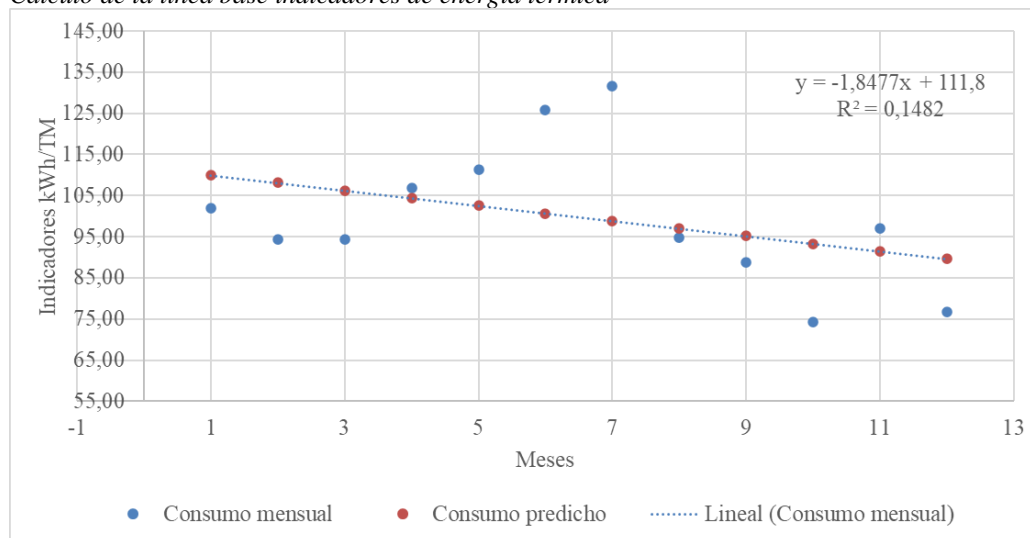


Nota: *El autor*

En la figura 8.6, se muestra el cálculo de la línea base para los indicadores de energía térmica, se evidencia que en los 5 últimos meses a excepción del mes 11, los indicadores se han mantenido por debajo de la línea base, indicando que se está mejorando la eficiencia energética a partir de buenas prácticas de operación

**Figura 8.6**

*Cálculo de la línea base indicadores de energía térmica*



Nota: *El autor*

## 8.2 Evaluación de la eficiencia energética en función de las mejoras tecnológicas

Para la evaluación de la eficiencia energética en función de las mejoras tecnológicas, se utiliza los consumos registrados o medidos, para en función de la estimación de los porcentajes que se ahorra, calcular valores económicos, energéticos y de impacto ambiental. Realizando los cálculos de estimación de ahorros económicos se calculan el valor actual neto, la tasa de interés de retorno y el payback los cuales son importantes para el buen entendimiento de la directiva de la organización y para el avance y los compromisos con la eficiencia energética.

### 8.2.1 Evaluación de las mejoras tecnológicas en las redes

La instalación de un economizador en la caldera Bosh, tiene la función de recuperar el calor que emiten los gases de la combustión a 180°C, reduciendo las pérdidas por calor sensible. La eficiencia del caldero aumentara de un 92% a 97%, por evitar quemar más combustible. Los resultados de la evaluación se muestran a continuación en la tabla 8.1, al año se plantea con la mejora de la instalación del intercambiador de calor ahorrar 38296 dólares americanos y prevenir que 198 Tm de Co<sub>2</sub>eq se extiendan por el aire.

**Tabla 8.1**

*Cálculo estimado del ahorro por la instalación de un recuperador de calor*

Mes	Consumo de combustible US gasoil	Costo del combustible (\$)	Consumo de energía (kWh)	Consumo de energía (TJ)	Tn Co <sub>2</sub> eq	Estimación ahorro (\$)	Ahorro Tn Co <sub>2</sub> eq
Enero	25645,2	40513,3	993934,7	3,6	265,1	2025,7	13,3
Febrero	27254,5	45906,7	1083963,1	3,9	289,1	2295,3	14,5
Marzo	28245,6	52972,9	1137727,8	4,1	303,5	2648,6	15,2
Abril	31258,2	66517,4	1282912,8	4,6	342,2	3325,9	17,1
Mayo	39562,1	78428,0	1583596,3	5,7	422,4	3921,4	21,1
Junio	40918,6	84292,4	1665387,0	6,0	444,2	4214,6	22,2
Julio	37525,9	83435,0	1527267,5	5,5	407,4	4171,8	20,4
Agosto	26548,1	59274,5	1102644,4	4,0	294,1	2963,7	14,7
Septiembre	28979,0	63753,9	1179446,9	4,2	314,6	3187,7	15,7
Octubre	25960,6	57721,3	1056594,8	3,8	281,8	2886,1	14,1
Noviembre	33999,6	75595,6	1199127,3	4,3	319,9	3779,8	16,0
Diciembre	25873,3	57527,3	1079408,4	3,9	287,9	2876,4	14,4
<b>Total</b>	<b>371770,7699</b>	<b>765938,2004</b>	<b>14892011,04</b>	<b>53,6</b>	<b>3972,3</b>	<b>38296,9</b>	<b>198,6</b>

Nota: *El autor*

A continuación, en la tabla 8.2, se muestra que el resultado del valor actual neto es positivo, la tasa del retorno de la inversión es del 30% y el payback es de 1.3 años, lo que determina que la instalación del intercambiador de calor para mejorar la eficiencia energética del caldero es factible.

**Tabla 8.2***Cálculo del VAN, TIR y payback por la instalación de un recuperador de calor*

	Año			
	0	1	2	3
Ingreso		\$ 38.000,00	\$ 38.000,00	\$ 38.000,00
Flujo	\$ 50.000,00	\$ 38.000,00	\$ 38.000,00	\$ 38.000,00
Tasa de Descuento	1,000	0,833	0,694	0,579
Flujo Descontado	50.000,000	31.666,667	26.388,889	21.990,741
VAN	30.046,296	47.929,686		
TIR	30%			
PAYBACK	1,32 años			

Nota: *El autor*

En la tabla 8.3, se observan los cálculos y estimaciones para el análisis del ahorro energético, económico y ambiental por la instalación de reguladores de voltaje en los tres transformadores de potencia de los procesos de producción de la planta de alimentos intervenida. Se evidencia que al año es posible ahorrar 64679 dólares americanos y por lo menos 559967 kWh de energía eléctrica, por reducir la tolerancia de variación de voltaje, mediante la estabilización o regulación del voltaje a un +1% de diferencia.

**Tabla 8.3***Cálculo estimado del ahorro por la instalación de un recuperador de calor*

Mes	Consumo mensual de energía eléctrica kWh	Costo mensual de energía eléctrica kWh (\$)	Estimación ahorro kWh	Estimación ahorro (\$)	Ahorro Tn Co2eq
Enero	1208671,0	85076,5	36260,1	4253,8	5,4
Febrero	1449804,0	96671,2	43494,1	4833,6	6,5
Marzo	1524788,0	105401,9	45743,6	5270,1	6,9
Abril	1528699,0	104227,7	45861,0	5211,4	6,9
Mayo	1783955,0	120023,6	53518,7	6001,2	8,0
Junio	1692822,0	119196,7	50784,7	5959,8	7,6
Julio	1557576,0	107182,5	46727,3	5359,1	7,0
Agosto	1447518,0	103765,5	43425,5	5188,3	6,5
Septiembre	1627064,0	115399,1	48811,9	5770,0	7,3
Octubre	1631099,0	112641,8	48933,0	5632,1	7,3
Noviembre	1677763,0	116001,8	50332,9	5800,1	7,5
Diciembre	1535818,0	107994,1	46074,5	5399,7	6,9
Total	18665577	1293582,4	559967,3	64679,1	84,0

Nota: *El autor*

En la tabla 8.4, se presentan los cálculos del VAN, TIR y payback, se evidencian los indicadores de la evaluación económica por la instalación de estabilizadores de voltaje en serie con el devanado secundario a los tres transformadores de potencia de los procesos de producción de la planta de alimentos; el gasto o la inversión inicial es de 20000 dólares americanos y cada año se estima ahorros o flujos de caja de 64600 \$, se evalúa con un interés del 8% y se obtienen los siguientes resultados: valor actual neto positivo de 57929 \$, la tasa interna de retorno positiva del 10% y el payback es de 3.1 años.

**Tabla 8.4**

*Cálculo del VAN, TIR y payback por la instalación de estabilizadores de voltaje*

	Año					
	0	1	2	3	4	5
Ingreso		\$64.600	\$64.600	\$64.600	\$64.600	\$64.600
Gasto o inversión	\$200.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo	\$200.000	\$64.600	\$ 64.600	\$64.600	\$ 64.600	\$ 64.600
Tasa de Descuento	1,000	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681
Flujo Descontado	200.000	59.814	55.384	51.281	47.482	43.965
VAN	57.929	(33.519)				
TIR	10%					
PAYBACK	3,10					

Nota: *El autor*

Para determinar la eficiencia energética, fue importante realizar inspecciones visuales alrededor de las diferentes áreas de la planta de alimentos intervenida, en la cual se evidencio que existen luminarias de baja eficiencia de tipo halógenas, posterior se registró en el inventario todas aquellas luminarias y se hizo un conteo de 432; como se puede observar en la tabla 8.5, se utilizó para el análisis de la oportunidad de mejora reemplazando todas aquellas por luminarias de alta eficiencia, en las cuales hay la posibilidad de perfeccionar en diferentes aspectos necesarios y requeridos por la administración y organización de los procesos de producción.. Los resultados del consumo son de 116968 kWh al año, en la propuesta se reemplazan y se consiguen un ahorro energético de 60109 kWh, reducir los costos de energía hasta 4549 dólares americanos por año y un equivalente en la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> de 9533 kg así mismo por año. En la lista se pueden observar luminarias tipo halógenos de 17 W y de 32 W que se pueden cambiar por tipo led de 9 W y 18W, además de campanas de sodio de 400 W que se reemplazan por leds de 200 W, esto permitirá un ahorro del 100%, además de aumentar con menos energía los lúmenes de las áreas que se nombran en la tabla.

**Tabla 8.5***Cálculo estimado del ahorro por el cambio de luminarias eficientes*

Área	Total, luminarias	Tipo de luminaria y potencia (W)	Consumo kWh/año	Ahorro de energía kWh/año	Ahorro \$ kWh/año	Ahorro emisiones CO2eq
Planta nivel 1	4	Campana de Sodio 400W	11680,0	5840,0	408,8	926,2
Planta nivel 2	4	Campana de Sodio 400W	11680,0	5840,0	408,8	926,2
Planta nivel 3	4	Campana de Sodio 400W	11680,0	5840,0	408,8	926,2
Planta nivel 4	4	Campana de Sodio 400W	11680,0	5840,0	408,8	926,2
Planta nivel 5	4	Campana de Sodio 400W	11680,0	5840,0	408,8	926,2
Planta nivel 6	4	Campana de Sodio 400W	11680,0	5840,0	408,8	926,2
Bodega 1	3	Campana de Sodio 400W	5256,0	2628,0	184,0	416,8
Bodega 2	3	Campana de Sodio 400W	5256,0	2628,0	184,0	416,8
Bodega 3	3	Campana de Sodio 400W	5256,0	0,0	184,0	0,0
Laboratorio	30	Tubo halo 17 W	1489,2	700,8	58,9	111,1
Oficinas 1	36	Tubo halo 17 W	1787,0	841,0	70,6	133,4
	12	Tubo halo 17 W	744,6	350,4	29,4	55,6
Oficinas 2	12	Tubo halo 17 W	394,2	78,8	6,6	12,5
	51	Tubo halo 17 W	3164,6	1489,2	125,1	236,2
Oficinas 3	3	Tubo halo 33 W	361,4	262,8	22,1	41,7
Oficinas 4	81	Tubo halo 17 W	5026,1	2365,2	198,7	375,1
Oficinas 5	12	Tubo halo 17 W	744,6	350,4	29,4	55,6
Oficinas 6	12	Tubo halo 17 W	595,7	280,3	23,5	44,5
Oficinas 7	9	Tubo halo 17 W	446,8	210,2	17,7	33,3
Oficinas 8	18	Tubo halo 17 W	893,5	420,5	35,3	66,7
Sala de sesiones	18	Tubo halo 17 W	446,8	210,2	17,7	33,3
Oficinas 9	66	Tubo halo 17 W	3276,2	1541,8	129,5	244,5
Cafetería	4	Tubo halo 17 W	99,3	46,7	3,9	7,4
Comedor	30	Tubo halo 33 W	2890,8	2102,4	176,6	333,4
Perímetro	5	Tipo sodio 400 W	8760,0	8562,9	599,4	1358,1
Total	432		116968,6	60109,7	4549,1	9533,4

Nota: *El autor*

En la figura 8.6, cálculo del VAN, TIR y payback por el cambio de luminarias eficientes, se evalúa para 3 años, el gasto o inversión inicial es de 8300 dólares americanos, con flujos de caja en cada año de 4500 \$, los resultados del valor actual neto son positivos de 2508 \$, la tasa de retorno del interés es del 15% y el payback es de 1,84 años, indicando que el proyecto es factible a corto plazo

**Tabla 8.6***Cálculo del VAN, TIR y payback por el cambio de luminarias eficientes*

	Año			
	0	1	2	3
Ingreso		\$ 4.500,00	\$4.500,00	\$ 4.500,00
Flujo	\$ 8.300,00	\$ 4.500,00	\$4.500,00	\$4.500,00
Tasa de Descuento	1,000	0,893	0,797	0,712
Flujo Descontado	8.300,000	4.017,857	3.587,372	3.203,011
VAN	2.508,241	3.296,936		
TIR	15%			
PAYBACK	1,84			

Nota: *El autor*



En la figura 8.7, se muestran los cálculos estimados de ahorros por la instalación de sensores de movimiento, que actuarán y encenderán automáticamente las luminarias o ventiladores de las áreas descritas cuando sientan la presencia de personas, logrando así reducir los desperdicios de energía cuando olviden apagar los interruptores, se evidencia que es posible ahorrar hasta 15000 kWh por año, representa aproximadamente 1200 \$ y equivale a dejar de emitir 2380 kg de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 8.7***Cálculo estimado del ahorro por la instalación de sensores de movimiento*

Áreas	N° de elementos	Luminarias (W)	Ventiladores (W)	Consumo total actual kWh	Ahorro de energía kWh	Ahorro \$ de energía	Ahorro de kg CO <sub>2</sub> eq
Bodega	4	18		0,86	0,72	0,06	0,11
Oficina 1	4	18		0,86	0,72	0,06	0,11
Baño de proyectos	2 1	18	45	0,97	0,81	0,06	0,13
Recepción	6 12	17 20		4,10	3,42	0,27	0,54
Escaleras 1	12	20		2,88	2,40	0,19	0,38
Baños caballeros	4 2 3 2	9 20 9	45	2,32	1,93	0,15	0,31
Baño damas	6 3	20 9		1,76	1,47	0,12	0,23
Baño supervisores	4 1 8 1	18 18	75 75	1,76 2,63	1,47 2,19	0,12 0,18	0,23 0,35
Baño operadores	4 1 8 1 12 1 6 1	18 18	35 75 75	1,28 2,63 3,49	1,07 2,19 2,91	0,09 0,18 0,23	0,17 0,35 0,46
Baño de visitas	1	9		0,11	0,09	0,01	0,01
Baño de garita	1	36		0,43	0,36	0,03	0,06
Baño dep.	1	9		0,11	0,09	0,01	0,01
Baño cocina	4	20		0,96	0,80	0,06	0,13
Baño dep. calidad	2	18		0,43	0,36	0,03	0,06
Tableros de distribución 1	32	18		6,91	5,76	0,46	0,91
Tableros de distribución 2	24	18		5,18	4,32	0,35	0,69
Escaleras planta	38	18		8,21	6,84	0,55	1,08
Total, por año				18036,00	15030,00	1202,40	2383,76

Nota: *El autor*

En la tabla 8.8, se observa la evaluación de indicadores económicos para la implementación de la instalación de sensores de movimiento, la inversión inicial es de 500 dólares americanos, los flujos de caja anuales son de 1200 \$, los resultados del VAN son positivos y el TIR es sumamente alto, el payback se recupera en apenas medio año, evidenciando así la factibilidad positiva del proyecto.

**Tabla 8.8***Cálculo del VAN, TIR y payback por la instalación de sensores de movimiento*

	Año			
	0	1	2	3
Ingreso		\$ 1.200,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Flujo	\$ 500,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Tasa de Descuento	1,000	0,769	0,592	0,455
Flujo Descontado	(500,000)	923,077	710,059	546,199
VAN	1.679,335	2.592,516		
TIR	157%			
PAYBACK	0,42			

Nota: *El autor*

En la tabla 8.9, se muestran los cálculos estimados del ahorro energético, económico y ambiental por la instalación de aislamiento térmico en las tuberías y elementos de distribución de vapor en los procesos de producción de peletizado y extrusado, en el capítulo 7 se detectaron y describieron todas las oportunidades de mejora en los sistemas de distribución de vapor. Se prevé reducir anualmente 148920 kWh de energía, además de disminuir los costes energéticos de hasta 7659 \$ y ahorrar casi 40 Tn de CO<sub>2eq</sub>.

**Tabla 8.9***Cálculo estimado del ahorro por la instalación de aislamiento térmico*

Mes	Consumo de combustible US gasoil	Costo del combustible (\$)	Consumo de energía (kWh)	Estimación ahorro (kWh)	Estimación ahorro (\$)	Ahorro Tn Co <sub>2eq</sub>
Enero	25645,2	40513,3	993934,7	9939,3	405,1	2,7
Febrero	27254,5	45906,7	1083963,1	10839,6	459,1	2,9
Marzo	28245,6	52972,9	1137727,8	11377,3	529,7	3,0
Abril	31258,2	66517,4	1282912,8	12829,1	665,2	3,4
Mayo	39562,1	78428,0	1583596,3	15836,0	784,3	4,2
Junio	40918,6	84292,4	1665387,0	16653,9	842,9	4,4
Julio	37525,9	83435,0	1527267,5	15272,7	834,4	4,1
Agosto	26548,1	59274,5	1102644,4	11026,4	592,7	2,9
Septiembre	28979,0	63753,9	1179446,9	11794,5	637,5	3,1
Octubre	25960,6	57721,3	1056594,8	10565,9	577,2	2,8
Noviembre	33999,6	75595,6	1199127,3	11991,3	756,0	3,2
Diciembre	25873,3	57527,3	1079408,4	10794,1	575,3	2,9
Total	371770	765938	14892011	148920	7659	39,7

Nota: *El autor*

En la tabla 8.10, se observan los resultados de la evaluación por la instalación de aislante térmico en las tuberías y válvulas del sistema de distribución de vapor. Mediante los análisis de ahorros se estimó un total de \$ 7650 por año, la inversión total es de \$ 10000, se obtiene positivo el valor actual neto y el retorno de la tasa de interés, lo que es viable la implementación, el payback es de 1,31 años.

**Tabla 8.10***Cálculo del VAN, TIR y payback por la instalación de aislante térmico*

	Año			
	0	1	2	3
Ingreso		\$ 7.650,00	\$ 7.650,00	\$ 7.650,00
Gasto o inversión	\$10.000,00	\$ -	-	\$ -
Flujo	\$ 10.000,00)	\$7.650,00	\$ 7.650,00	\$ 7.650,00
Tasa de Descuento	1,000	0,769	0,592	0,455
Flujo Descontado	10.000,000	5.884,615	4.526,627	3.482,021
VAN	3.893,264	9.714,792		
TIR	20%			
PAYBACK	1,31			

Nota: *El autor*

## 8.2 Evaluación de las mejoras tecnológicas en los equipos de la planta

Mediante la información recolectada en el capítulo 8.11, sobre la demanda de equipos, se constató que existen varias oportunidades de mejorar en los procedimientos de la eficiencia energética de la planta de alimentos; en la intervención fue posible verificar que los cuellos de botella en los procesos de producción ocasionan pérdidas que normalmente no son medibles. En la tabla 47, se observa el análisis de carga en el proceso de molienda, se evidencia que el porcentaje de factor de carga es inferior al 50%, determinando que los equipos de molienda no se están aprovechando al máximo.

**Tabla 8.11** *Análisis de carga en el proceso de molienda*

N°	Equipo	Proceso de molienda				
		Voltaje [V]	Amperaje [A]	Potencia [kW]	Potencia calculada (kW)	Factor de carga (%)
1	Motor molino 1	440	310	200	48,4	24
2	Motor pulverizador 1	440	250	160	38,6	24
3	Motor molino 2	440	310	200	79,3	40
4	Motor pulverizador 2	440	250	160	55,2	35
5	Motor molino 3	440	310	200	100,8	50
6	Motor pulverizador 3	440	250	160	59,3	37
7	Motor molino 4	440	310	200	135,2	68
8	Motor pulverizador 4	440	250	160	116,1	73
9	Motor molino 5	440	310	200	137,3	69
10	Motor pulverizador 5	440	250	160	98,0	61
				1800	868	48

Nota: *El autor*

Que los equipos operen a factores de carga bajos, la eficiencia energética será también mayor. La capacitación y el entramiento al personal operativo es esencial para que, mediante las mediciones en línea, tenga la capacidad de tomar decisiones en las cuales, los procesos de producción no se vean afectados en cuanto a pérdidas energéticas. Para el mejor control y análisis se propone mediante la automatización generar alarmas, que muestren las condiciones en las cuales los equipos no están siendo eficientes. En la tabla 8.12, se evalúa la instalación de alarmas automáticas en las cuales generan avisos de cuando el equipo debe apagarse, para así evitar pérdidas energéticas por el encendido de equipos cuando no es necesario, los valores del VAN y el TIR son positivos, y el payback es de medio año, lo que convierte a la idea en una alternativa viable para mejorar la eficiencia energética.

**Tabla 8.12***Cálculo del VAN, TIR y payback por la instalación de aislante térmico*

	Año			
	0	1	2	3
Ingreso		\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Gasto o inversión	\$ 5.000,00	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo	\$ 5.000,00	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Tasa de Descuento	1,000	0,769	0,592	0,455
Flujo Descontado	5.000	7.692,308	5.917,160	4.551,661
VAN	13.161,1	20.770,970		
TIR	125%			
PAYBACK	0,50			

Nota: *El autor*

Para realizar el análisis del ahorro por la instalación de variadores de frecuencia en aplicaciones de torque variable, se realiza lecturas a dos equipos de similares características, con la diferencia que el motor número 2 se le conecta un variador de frecuencia marca siemens modelo V20. En la tabla 8.13 se muestran dos motores de los ventiladores 3 y 4 del proceso de enfriamiento, se puede evidenciar que, mediante el control de velocidad del motor al reducir la frecuencia, existe un ahorro significado comparado con el que arranca directo.

**Tabla 8.13***Análisis comparativo de la instalación de variadores de frecuencia*

Prueba de variadores de frecuencia ventiladores proceso de enfriado					
N°	Equipo	Consumo (kWh)	Ahorro de energía (kWh)	Ahorro económico	Ahorro de CO <sub>2</sub> eq (kg)
1	Motor ventilador 3	6436	0	0	0
2	Motor ventilador 4	4943	1473	123	220

Nota: *El autor*

En la tabla 8.14, se muestra el análisis y los resultados de los cálculos obtenidos de los ahorros energéticos, económicos y ambientales por la instalación de variadores de frecuencia en motores o equipos de torque variable como lo son ventiladores y bombas. Actualmente hay una lista de 19 equipos en los procesos de producción, en la cual, existe la oportunidad de mejorar la eficiencia energética implementando controles de velocidad mediante la variación de frecuencia del motor eléctrico; los ahorros económicos anuales podrían ser fácilmente \$53.857 dólares americanos, en energía por otro lado, el estimado es de 673.208 kWh, la cual equivale a dejar de emitir casi 184 TM de CO<sub>2</sub>Eq.

**Tabla 8.14**

*Análisis del ahorro económico energético y ambiental por la instalación de variadores de frecuencia*

N°	Equipo	Proceso de molienda			
		Consumo (kWh)	Ahorro de energía (kWh)	Ahorro económico	Ahorro de CO <sub>2</sub> eq
1	Motor ventilador molino 1	131001	26200	2096	3930
2	Motor ventilador pulverizador 1	361106	72221	5778	10833
3	Motor ventilador molino 2	129102	25820	2066	3873
4	Motor ventilador pulverizador 2	412747	82549	6604	12382
5	Motor ventilador molino 3	77651	15530	1242	2330
6	Motor ventilador pulverizador 3	467805	93561	7485	14034
7	Motor ventilador molino 4	146569	29314	2345	4397
8	Motor ventilador pulverizador 4	345728	69146	5532	10372
9	Motor ventilador molino 5	135747	27149	2172	4072
10	Motor ventilador pulverizador 5	445782	89156	7133	13373
11	Motor bomba de aceite 1	18226	3645	292	729
12	Motor bomba de aceite 2	1413	283	23	57
13	Motor bomba de agua 1	21644	4329	346	866
14	Motor bomba de agua 2	25631	5126	410	76892
15	Motor ventilador 1	56957	11391	911	2278
16	Motor ventilador 2	205044	41009	3281	8202
17	Motor ventilador 3	99105	19821	1586	3964
18	Motor ventilador 4	131001	26200	2096	5240
19	Motor ventilador 5	153783	30757	2461	6151
		3366040	673208	53857	183976

Nota: *El autor*

En la tabla 8.15, están los resultados obtenidos de la evaluación económica de la mejora de la eficiencia energética, mediante la instalación de variadores de frecuencia en los motores de los ventiladores y bombas de los procesos de producción. Se utilizan los ahorros estimados de la tabla anterior, la cual determino que al año se recibe la cantidad de \$ 53.000, por disminuir el consumo de los equipos y no pagar las tarifas energéticas. La implementación de la mejora es viable ya que se consigue el valor actual neto y la tasa interna de retorno positivas y el payback es de 1.39 años.

**Tabla 8.15***Cálculo del VAN, TIR y payback por la instalación de variadores de frecuencia en equipos*

	Año			
	0	1	2	3
Ingreso		\$53.000,00	\$53.000,00	\$53.000
Gasto o inversión	\$ 70.000	\$1.200	\$1.200	\$ 1.200
Flujo	\$ 70.000	\$ 51.800	\$ 51.800	\$51.800
Tasa de Descuento	1,000	0,769	0,592	0,455
Flujo Descontado	70.00	39.846	30.65	23.577
VAN	24.074	63.493,624		
TIR	18%			
PAYBACK	1,39			

Nota: *El autor*

En la tabla 8.16, se evidencio que, en los procesos de producción de la planta de alimentos, existen once equipos, que, a comparación de otros, son ineficientes energéticamente, por la cual, es prioritario la sustitución por motores de alta eficiencia. El consumo de energía anual de los equipos ineficientes son 461.247 kWh, reemplazando los equipos el cálculo estimado de ahorro es de 170.357 kWh, lo que equivale a disminuir la emisión de CO<sub>2eq</sub> a 25 toneladas anuales y los costos energéticos también se reducen a \$13.629 dólares americanos al año.

**Tabla 8.16***Análisis del reemplazo de equipos ineficientes*

N°	Equipo	Reemplazo de equipos ineficientes			
		Consumo de energía (kWh)	Ahorro de energía (kWh)	Ahorro (\$)	Ahorro emisiones CO <sub>2eq</sub>
1	Motor elevador molino 2	18875	5195	416	779
2	Motor elevador molino 3	19175	5495	440	824
3	Motor ventilador molino 4	115649	54449	4356	8167
4	Motor elevador molino 4	19475	5795	464	869
5	Motor transportador 2	29212	16252	1300	2438
6	Motor elevador 2	40447	8047	644	1207
7	Motor ventilador 2	161788	46588	3727	6988
8	Motor transportador 2	20224	10864	869	1630
9	Motor transportador 3	20224	10864	869	1630
10	Motor transportador 5	16179	6819	546	1023
11	Motor barredor 1	38649	4809	385	721
		461247	170367	13629	25555

Nota: *El autor*

En la siguiente tabla 8.17, se obtienen los resultados de la evaluación económica por la implementación del reemplazo de equipos ineficientes por motores de alta eficiencia. El valor actual neto y la tasa interna de retorno son positivos y el payback es de 1.32 años, lo que la convierte en viable la ejecución de la mejora.

**Tabla 8.17***Cálculo del VAN, TIR y payback por el reemplazo de quipos ineficientes*

	Año			
	0	1	2	3
Ingreso		\$ 13.629	\$ 13.629	\$ 13.629
Gasto o inversión	\$ 18.000	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo	\$ 18.000	\$ 13.629	\$ 13.629	\$ 13.62
Tasa de Descuento	1,000	0,769	0,592	0,455
Flujo Descontado	18.000	10.48	8.064	6.20
VAN	6.751	17.123		
TIR	20%			
PAYBACK	1,32			

Nota: *El autor*

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Este trabajo de investigación, se enfocó en la intervención de una planta de alimentos donde se evalúan los procedimientos de eficiencia energética de los procesos de producción. Se determinan los consumos energéticos de la planta de alimentos, mediante los registros de energía eléctrica y el crecimiento anual es del 35 %, mientras que, el consumo de combustibles aumento el 30 %. Los costos energéticos a su vez el último año representaron, en energía eléctrica el 8% más por cada tonelada de producción y el combustible en el 50%.

Mediante herramientas de medición como analizadores de red y flujómetros, se concluye que el máximo consumidor de energía eléctrica de los procesos de producción son los de molienda con el 51%, mientras que peletizado con el 17% y extrusado con él 13%; por otro lado, el máximo consumidor de energía térmica es el secador con el 59%, seguido de los procesos de producción de acondicionamiento de peletizado y extrusado con el 27% y 9% cada uno.

El análisis de los equipos de los procesos de producción de alimentos demuestra que hay diferencias de operación entre equipos de igual o similar necesidad, lo que evidencia que hay procesos los cuales son menos eficientes que otros, otorgando así, a la planta de alimentos la oportunidad de aplicar mejoras y evidenciar el mejor desempeño energético.

Se concluye entonces que, mediante la aplicación de procedimientos de eficiencia energética y proyectos de mejora como la implementación de recuperadores de calor, aislantes térmicos, estabilizadores de voltaje, el reemplazo de tecnología eficiente, instalación de variadores de frecuencia y el control de cuellos de botella en los procesos de producción permiten mejorar los procedimientos de indicadores de eficiencia energética hasta un 25%.



Se concluye además que la aplicación de proyectos de eficiencia energética para la planta de alimentos, pueden ser medidos y controlados mediante el uso del cálculo de la línea base, indispensable para dar a conocer a la directiva de la organización que dichas implementaciones están proporcionando buenos o malos resultados en las mejoras. De igual manera los mecanismos de evaluación de la eficiencia energética permiten conocer cuáles son las mejoras, que son críticas y que deben realizarse como prioridades, en las que se debe actuar de manera inmediata.

## **Recomendaciones**

Se recomienda que los procedimientos operativos de los procesos de producción tengan buenas prácticas organizacionales, las cuales, garanticen la calidad y la inocuidad de los alimentos.

Es importante la implementación de los mantenimientos programados, preventivos y predictivos a las redes de servicio y a los equipos de los procesos de producción para asegurar, que la confiabilidad no impida la elaboración de los alimentos en los tiempos establecidos por la organización.

Se sugiere además que se evalúe la implementación de automatismos industriales en los procesos de producción de la planta de alimentos, con la finalidad de reducir tiempos muertos y que, además, no tengan intervención de operadores, ya que puedan llegar a ser de alto riesgo para los mismos.

Es recomendable que la organización del recurso humano realice y verifique que los manuales de funciones del personal designen un líder y proponer un comité interdisciplinario entre varios departamentos, el cual tenga como objetivos la promoción, divulgación y explotación de proyectos de eficiencia energética que sean de interés de la organización de la planta de alimentos.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Apaza, R. (2019). *Correlación de índices productivos con suplementación de harina de larva de mosca Hermetia illucens A TRES NIVELES*. Tesis, Arequipa. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/287059619.pdf>
- Arce, M. (2019). *Diagnóstico del desempeño energético del sistema de generación y distribución de vapor y retorno de condensado de la clínica Foscal*. Tesis, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7133>
- Bobadilla, J. (2019). Evaluación de la eficiencia energética del sistema de aire comprimido en una clinica privada de alta complejidad ubicada en la ciudad de Barranquilla. 116. Barranquilla, Colombia.
- Broncano, A. (2016). *Elaboración e implementación de un manual de buenas prácticas de manufactura (BPM) para la planta de balanceados de la granja avícola Maribel*. Tesis, Riobamba. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7070/1/17T1445.pdf>
- Calderon,A. (14 de Enero de 2019). Mejora en la gestión energética en la planta industrial de la empresa RVR transformadores. (7), 32. Quito.
- Cando, V. (2015). *Diseño de un sistema para ventilación con control automático en bodega de almacenamiento de productos balanceados*. Universidad Politécnica Salesiana , Quito. Obtenido de [file:///C:/Users/roord/Downloads/UPS-KT01160%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/roord/Downloads/UPS-KT01160%20(1).pdf)
- Carrillo, G., Andrade, J., Barragán, A., & Astudillo, A. (2014). Impacto de programas de eficiencia energética eléctrica, estudio de caso: Empresas alimentarias en Cuenca, Ecuador. *Dyna*, 81(184), 41-48.
- Carrillo, J. (2013). *Unversidad de Cuenca*. Obtenido de [dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec)

- Chachapoyas, D. (2014). *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos*. Tesis, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8927>
- Chacón, F. (2015). *Evaluación energética en una planta de alimentos balanceados para animales*. Tesis, San José. Recuperado el 2021, de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2751>
- Chafloque, J., & Vallejos, J. (2015). *Universidad Nacional del Santa*. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/1999>
- Coello, A. (2017). *Adaptación de estándares de gestión energética bajo la normativa ISO 50001:2011, en empresas termoformadoras "Análisis de la eficiencia energética"*. Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/24045/1/TESIS%20ANGELO%20COELLO%20GUILLEN%20FINAL%202017-10-13%2015H20.pdf>
- Edwin, R. (2018). *Evaluación de eficiencia energética de máquinas herramientas en el taller automotriz del IESTP Mario Gutiérrez López, Orcotuna -Concepción*. Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado el 30 de Abril de 2021
- El Comercio. (9 de Abril de 2019). *20 datos que debe saber sobre la Ley de Eficiencia Energética*, pág. 1.
- Enríquez, G. (2018). *El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales* (Segunda Edición ed.). México: Editorial Limusa . Recuperado el 15 de 4 de 2021
- Fuentes de pérdidas en la eficiencia de los equipos de las líneas de peletizado de PRONACA Quevedo. Uso de un sistema OEE (Eficiencia global de equipos). (s.f.).
- Galarza, M. (2015). *Estudio y propuesta de mejora del control de los procesos de elaboración y calidad en la producción de alimento balanceado*. Tesis, Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20876/1/TESIS%20Magda%20Galarza%20Ramos%20-%20MSIG.pdf>

- García, G. (2018). *Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento en una empresa de elaboración de alimentos balanceados, mediante el mantenimiento productivo total (TPM)*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado el 30 de 01 de 2022, de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12015/GARCIA\\_GONZALO\\_MEJORA\\_GESTION\\_ALIMENTOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12015/GARCIA_GONZALO_MEJORA_GESTION_ALIMENTOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- García, F., & Mellado, L. (2013). *Eficiencia energética y derecho*. Madrid: Dykinson S.L. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GMhtBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA93&dq=normativa+sobre+eficiencia+energetica+&ots=eJo4ZLQh8S&sig=AZGnkpAKcz-Ui5NnStICUXBJSEA#v=onepage&q=normativa%20sobre%20eficiencia%20energetica&f=false>
- Gil, M., Maccarone, J., Pascual, O., & Nahuel, L. (2016). Herramienta para el seguimiento y control de la situación energética de una organización con vistas a implementar a norma IRAM-ISO 50001 de gestión y eficiencia energética. Córdoba.
- Gómez, J., Ramírez, C., & Álvarez, M. (2018). *Estudio de eficiencia energética de red de vapor planta guayabal de Postobón S.A*. Tesis, Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Hinojosa, R. (2007). *Evaluación de la eficiencia energética de la instalación de aire comprimido de los compresores modelo K-500 de la Empresa Comandante "Ernesto Che Guevara"*. Tesis, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Ingeniería Energética. (Enero/Abril de 2014). Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001. *Ingeniería Energética*, XXXV(1), 38-47.
- Lara, A., & Mendoza, M. (Septiembre de 2018). Fuentes de pérdidas en la eficiencia de los equipos de las líneas de pelletizado de Pronaca Quevedo. Uso de un sistema OEE (Eficiencia Global de Equipos). *INVPOS*, 1, 24. Obtenido de

<http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/invpos/article/view/150/127>

- Ledesma, A., & Ortega, J. (2017). *Automatización del proceso de dosificación, molienda y gestión de materias primas de alimentos balanceados*. Tesis, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago De Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/9702/T07370.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Libera, J. (2016). *Procedimiento para evaluar la eficiencia de los sistemas de control automático utilizados en los centrales azucareros*. Tesis, Universidad de Camaguey. Obtenido de [http://rediuc.reduc.edu.cu/jspui/bitstream/123456789/996/1/LiberaHechavarr%c3%ada\\_JulianIdilio.pdf](http://rediuc.reduc.edu.cu/jspui/bitstream/123456789/996/1/LiberaHechavarr%c3%ada_JulianIdilio.pdf)
- Lindao, R. (2016). *Identificación de los equipos críticos en la planta procesadora de alimento balanceado en avícola San Isidro S.A. AVISID para optimizar el sistema de mantenimiento preventivo*. Tesis, Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado el 2022, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18474/1/LINDAO-BELTRAN-RONALD-GABRIEL-TESIS-FINAL...pdf>
- Martín , J., & Socconini, L. (2019). *Lean Energy 4.0 Guía de Implementación*. Barcelona: Adriá Gibernau. Recuperado el 25 de Marzo de 2021, de <https://play.google.com/books/reader?id=QjyeDwAAQBAJ&hl=es&pg=GBS.PA80>
- Mayorga, M. (Enero de 2018). Evaluación de la eficiencia energética del sistema eléctrico del proceso productivo de la empresa de lacteos "Soprab" de la ciudad de Ambato, en el año 2012-2013. Diseño de un plan de gestión para el uso eficiente de la energía eléctrica. Recuperado el 24 de Octubre de 2020, de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6292>
- Muñoz, D. (2017). *Estudio de la cadena de valor de alimentos balanceados en el Ecuador*. Tesis, Quito. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5999/1/T2492-MAE-Mu%c3%b1oz-Estudio.pdf>

- Navarro, J., & Molés, F. (2015). *Gestión Energética en Plantas Industriales*. Madrid: AMV Ediciones.
- Palacios, J. (2019). *Análisis de eficiencia energética en sistemas de aire comprimido para industrias*. Tesis, Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170205>
- Parrales, V., & Tamayo, J. (2012). *Diseño de un modelo de gestión estratégico para el mejoramiento de la productividad y calidad aplicado a una planta procesadora de alimentos balanceados*. Tesis, Guayaquil. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24849/1/Tesis\\_MOD%20GEST%20MEJORA%20PRODUCT%20Y%20CALIDAD%20PLANTA%20BALANCEADOS%20J.%20TAMAYO%20-%20V.%20PARRALES.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24849/1/Tesis_MOD%20GEST%20MEJORA%20PRODUCT%20Y%20CALIDAD%20PLANTA%20BALANCEADOS%20J.%20TAMAYO%20-%20V.%20PARRALES.pdf)
- Porras, C., Ruiz, F., García, J., & Fuentes, J. (2019). Indicadores clave de rendimiento (KPIs) sobre eficiencia energética en la industria agroalimentaria. Huesca.
- Proaño, P. (2018). *Sistema integrado de eficiencia energética para optimizar los procesos de producción en la industria láctea*. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Recuperado el 8 de 04 de 2021, de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28131>
- Quijia, O. (2018). *Eficiencia energética en el sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Quinindé, Ecuador*. Tesis, Instituto Politecnico de Leira.
- Ramón, A. (2011). *Evaluación para sistemas de bombeo de agua: Manual de eficiencia energética* (Primera ed.). (BID, Ed.) Washington, D.C. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluaci%C3%B3n-para-sistemas-de-bombeo-de-agua-Manual-de-eficiencia-energ%C3%A9tica.pdf>
- Remache, A. (2016). *Desarrollo de un snack por extrusión de la mezcla de maíz zea mays quinoa chenopodium quínoa y chocho lupinus mutabilis sweet saborizado*. Universidad Técnica Del Norte, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5316/1/03%20EIA%20406%20TESIS%20DE%20GRADO.pdf>

- Rey, F., Velasco, E., & Rey, J. (2018). *Eficiencia Energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001* (Primera edición ed.). Madrid: Paraninfo.
- Romito, L. (2015). *Eficiencia energética y su aplicación en la industria vitivinícola*. Tesis. Recuperado el 28 de Abril de 2021, de [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/7407/romito.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7407/romito.pdf)
- Rosero, J., Quispe, E., & Castrillón, R. (2018). Tendencias en la normatividad, el desarrollo tecnológico y la aplicación de motores eléctricos de alta eficiencia. *Prospectiva* , 16(1), 83-90.
- Ruiz, P. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma NTE INEN - ISO 50001:2012, aplicado a la empresa Enkador S.A.* . Tesis, Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el Julio de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17102>
- Salazar, C., De Olivera, E., & Vidal, J. (2012). La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: una aplicación para la identificación de inversiones de en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo. (X. Edición Especial, Ed.) *Revista del Instituto Internacional de Costos*. Obtenido de [http://www.revistaiic.org/articulos/numesp/articulo3\\_esp.pdf](http://www.revistaiic.org/articulos/numesp/articulo3_esp.pdf)
- Suarez, X. (03 de 08 de 2017). *Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12956/1/T-UCE-0010-002-2017.pdf>
- Terrones, W. (2019). *Implementacion del sistema HACCP en una planta de alimentos*. Tesis, Trujillo. Recuperado el 8 de Abril de 2020, de <http://www.dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14385/Terrones%20Montero%20Walter%20Augusto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vega, J. (2018). *Metodología de una auditoría de eficiencia energética en la industria alimenticia*. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9880/1/Jos%C3%A9%20Eduardo%20Vega%20Maldonado.pdf>
- Williams, D., & Gracey, A. (1996). *Mantenimiento y funcionamiento de silos*. Roma.



Zapata, L. (2020). *Mejoramiento de la eficiencia energética eléctrica de la empresa piladora Doña Carmela SAC aplicando la Norma ISO 50001*. Tesis, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Chiclayo. Obtenido de [http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/2619/TL\\_ZapataBenitesLeonel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/2619/TL_ZapataBenitesLeonel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## ANEXOS

Unidad funcional: 1 kWh	kg CO2 eq
Electricidad, red eléctrica, Ecuador 2018	0.1586
Electricidad, generación en planta con Fuel Oil en motor de combustión interna (FO-ICE)	0.7810
Electricidad, generación en planta con gas natural en turbina de gas (NG-GT)	0.6829
Electricidad, generación en planta con hidroeléctrica, Represa (H-D)	0.0085

Nota: Método del ciclo de vida para analizar la sustentabilidad ambiental de la generación eléctrica en Ecuador. Ramirez (2020).

Combustible	Contenido de energía TJ/Gg	Factor de emisión kg CO <sub>2</sub> /TJ
Petróleo crudo	42.3	73300
Gasolina	44.3	69300
Diesel	43	74100
Fuel oil	40.4	77400
Carbón	26.7	98300
Gas natural	48	56100

Nota: Green house gas protocol (2020).

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Roberth Andrés Ordóñez Toro**, con C.C: # **0706332079** autor del trabajo de titulación: **Evaluación de los procedimientos de eficiencia energética en los procesos de producción de una planta de alimentos** previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 9 de agosto de 2022

f. \_\_\_\_\_



Nombre: **Roberth Andrés Ordóñez Toro**

C.C: **0706332079**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Evaluación de los procedimientos de eficiencia energética en los procesos de producción de una planta de alimentos.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Ordóñez Toro, Roberth Andrés		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MSc. Manuel Romero Paz; MSc. Diana Bohórquez Heras / MSc. Armando Heras Sánchez		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>CARRERA:</b>	Maestría en Electricidad		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Electricidad con mención energías renovables y eficiencia energética		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	9 de agosto del 2022	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	<b>155</b>
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Eficiencia energética, procesos de producción de alimentos		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Procesos de producción, eficiencia energética, planta de alimentos, evaluación energética		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b> El presente trabajo de titulación se evalúan los procedimientos de eficiencia energética, utilizando documentación, normas y estándares; basados en procedimientos para la intervención del diagnóstico, análisis y evaluación energética, está enfocada en una planta de alimentos ubicada en la provincia del Guayas. Para la investigación se compilan fuentes principalmente de libros, guías, artículos de revistas y tesis académicas. Esta desarrollado en dos partes: la primera parte corresponde a la teoría y conceptos fundamentales de los procesos de alimentos, las redes de servicios con los equipos usados para la elaboración, la eficiencia energética en la industria y la normativa aplicada; en la segunda parte en el desarrollo se muestran las características de los procesos de producción de la planta de alimentos y de las redes la cual está conformada, se registran y se determinan los consumos energéticos de los diferentes sistemas mediante cálculos y mediciones en campo; además se ejecuta un análisis de los criterios de eficiencia energética mediante auditorias enfocadas a los procesos de producción, empleando instrumentos de medición y conceptos actualizados que aportaran a la identificación de oportunidades de mejora que servirán para desarrollar la evaluación de la factibilidad de aplicación y lograr un desempeño mejor en la eficiencia energética.			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-983495034	<b>E-mail:</b> <b>roberth.ordonez@cu.ucsg.edu.ec</b>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.		
	<b>Teléfono:</b> +593-995147293		
	<b>E-mail:</b> celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			