

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS  
UNIVERSIDAD DON BOSCO**



**“ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS  
BALANCEADOS PARA EL DESARROLLO DE INDICADORES Y PLANES DE  
MANTENIMIENTO CENTRADOS EN LA EFICIENCIA PRODUCTIVA”**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREPARADO PARA  
LA FACULTAD DE POSTGRADOS UCA  
Y  
FACULTAD DE INGENIERÍA UDB

PARA OPTAR AL GRADO DE

**MAESTRO EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

POR

DÍAZ RIVAS, ALEX WILFREDO

GÁLVEZ GIRÓN, JORGE SAMUEL

Diciembre 2021.  
ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.

### **Rectores**

Andreu Oliva De La Esperanza, S.J.

Mario Rafael Olmos Argueta, SDB.

### **Secretarias Generales**

Silvia Elinor Azucena De Fernández

Yesenia Xiomara Martínez Oviedo

### **Decana de Postgrado UCA**

Nelly Arely Chévez Reynosa

### **Decano de Postgrado UDB**

Mario Guillermo Juárez Pérez

### **Directores de la Maestría en Gerencia De Mantenimiento Industrial**

Diana Carolina Cruz UCA

José Luis Martínez UDB

### **Director de Tesis**

Dr. Luis Aarón Martínez

## AGRADECIMIENTOS.

Nuestro trabajo de graduación fue realizado durante una de las situaciones más difíciles a nivel mundial como lo es el COVID 19, por lo que queremos plasmar primeramente nuestro agradecimiento a Dios todo poderoso, quién nos permitió poder realizar las actividades necesarias de campo, donde se recopilaron y analizaron los datos plasmados sin lamentar ninguna situación.

En segundo lugar, nuestro más grande agradecimiento a la fábrica de alimentos balanceados, que por motivos de confidencialidad nombramos como Balanceados S.A. de C.V., por habernos abierto las puertas para el desarrollo de nuestro trabajo de graduación a través de su Gerente General. Sabemos que servirá de guía para seguir en la búsqueda de la excelencia a través de su esquema de mejora continua.

El rol familiar durante el desarrollo de nuestro post grado y trabajo de graduación ha sido uno de los apoyos más significativos, quienes han estado a nuestro lado apoyándonos en todo momento durante las largas jornadas de trabajo de noche después de laborar y el comprender el sacrificio de esos fines de semana sin nuestra presencia; por tanto, es de suma importancia para nosotros plasmar que sin ese apoyo incondicional no habríamos podido culminar nuestro trabajo.

Queremos también plasmar también nuestro agradecimiento al Dr. Aarón Martínez, por dedicarnos de su tiempo para guiarnos en la culminación de este trabajo.

Finalmente deseamos que este trabajo de graduación sea de utilidad para la sociedad salvadoreña en sus presentes y nuevas generaciones para hacer un mejor país citando las palabras de nuestro maestro San Juan Bosco *“Trabajemos como si nunca tuviéramos que morir, y vivamos como si tuviésemos que desaparecer a cada instante”*.

Alex Díaz

Jorge Gálvez

## Índice de Contenidos

I.	RESUMEN EJECUTIVO .....	9
II.	INTRODUCCIÓN .....	10
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	12
IV.	OBJETIVOS Y ALCANCE.....	13
V.	MARCO TEÓRICO .....	14
	AUDITORÍA ENERGÉTICA .....	14
	Elementos del proceso de una auditoría energética. ....	15
	MANTENIMIENTO PREDICTIVO. ....	19
	IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN ADECUADA DE LOS INDICADORES. ....	21
VI.	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	22
	Descripción General. ....	22
	Sistema de Gestión. ....	22
	Detalles sobre el proceso productivo.....	22
	Almacenaje y suministro de materias primas .....	24
	Molienda.....	25
	Molienda Gruesa .....	25
	Molienda fina.....	25
	Proceso de formulación y mezclado.....	26
	Peletizado .....	27
	Extrusado .....	29
	Pulverizado .....	29
VII.	METODOLOGÍA.....	31
	Alcance.....	31
	Límites.....	33
	Fases del análisis y diagnóstico energético. ....	33
VIII.	Recopilación de data. ....	34
	Facturación de suministro de energía de la planta. ....	35
	Detalle energético de los equipos y/o sistemas en estudio.....	36
IX.	Contabilidad Energética. ....	37
	Programación de mediciones eléctricas en la planta de producción.....	37
	Equipos de Medición. ....	37
X.	REVISIÓN Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN. ....	40

Molienda Fina .....	40
Molino 1.....	40
Molienda gruesa .....	42
Molino 2.....	42
Molino 3.....	43
Ganado harina “A” .....	45
Mezcladora .....	45
Formulación Aves .....	46
Mezcladora .....	46
Peletizado .....	48
Peletizadora 1 .....	48
Peletizadora 2 .....	49
Pulverizado .....	51
Molino pulverizador 1 .....	51
Molino pulverizador #2 .....	53
Extrusión .....	54
Extrusor #1.....	54
Extrusor #2.....	56
Ganado Harina B.....	57
Mezcladora .....	57
Molino.....	58
XI. IDENTIFICACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA. ....	61
Identificación. ....	61
Propuestas de mejora y recomendaciones. ....	63
Propuestas de mejora y recomendaciones para la eficiencia energética.....	63
Propuestas de mejora y recomendaciones para la mantenibilidad.....	75
Propuestas de mejora y recomendaciones para el control de la gestión.....	79
Resumen de propuestas de mejora y recomendaciones .....	82
XII. CONCLUSIONES.....	83
XIII. BIBLIOGRAFÍA .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Equipos (motores eléctricos) con consumo significativo en los procesos de producción, seleccionados con criterios establecidos por las áreas de producción y mantenimiento. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2. Resumen del consumo energético de la empresa “Balanceados S.A. de C.V.” durante el año 2020. ....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. Especificaciones principales de los equipos en estudio. ....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4. Programación para la ejecución de mediciones de factores eléctricos. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 5. Tiempo promedio efectivo de operación de los equipos en estudio. ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6. Características de equipos analizados en el proceso molienda fina. ....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7. Características de equipos analizados en el proceso molienda gruesa. ....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 8. Características de equipos analizados en el proceso Ganado Harina “A”. ....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9. Características de equipos analizados en el proceso Formulación Aves. ....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10. Características de equipos analizados en el proceso Peletizado. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 11. Características de equipos analizados en el proceso Pulverizado. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 12. Características de equipos analizados en el proceso Extrusión. ....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 13. Características de equipos analizados en el proceso PP19 – Ganado Harina B. ..</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 14. Factores de carga calculados para cada uno de los equipos en estudio. ....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 15. Detalle de costo por consumo energético promedio de los equipos en estudio. .</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 16. Representación porcentual hasta el 80% de consumo energético mensual de los equipos en estudio. ....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 17. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en la Peletizadora#1. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 18. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en la Peletizadora #1. ....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 19. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en la Peletizadora #2. ....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 20. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en la Peletizadora #2. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 21. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en el Extrusor #2. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 22. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en el Extrusor #2. ....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 23. Resumen de inversión y tiempo de recuperación por cambio de motor en Extrusor #2, incluyendo la instalación de un arrancador estrella-delta. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 24. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en la Extrusor #1. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 25. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en el Extrusor #1. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 26. Listado de actividades de mantenimiento preventivo aplicada a los equipos. ....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 27. Listado de actividades de mantenimiento predictivo recomendadas a aplicar a los equipos en estudio. ....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 28. Resumen de propuestas de mejora y recomendaciones. ....</i>	<i>82</i>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Comportamiento de la demanda en el Molino 1. ....	41
Gráfica 2. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino 1.....	41
Gráfica 3. Comportamiento de la demanda en el Molino 2. ....	42
Gráfica 4. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino 2.....	43
Gráfica 5. Comportamiento de la demanda en el Molino 3. ....	44
Gráfica 6. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino 3.....	44
Gráfica 7. Comportamiento de la demanda en la Mezcladora Ganado A. ....	45
Gráfica 8. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Mezclador Ganado A. .	46
Gráfica 9. Comportamiento de la demanda en la Mezcladora Formulación Aves.....	47
Gráfica 10. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Mezcladora Formulación Aves.....	47
Gráfica 11. Comportamiento de la demanda en la Peletizadora 1. ....	48
Gráfica 12. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Peletizadora 1.....	49
Gráfica 13. Comportamiento de la demanda en la Peletizadora 2. ....	50
Gráfica 14. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Peletizadora 2.....	50
Gráfica 15. Comportamiento de la demanda en el Pulverizador #1. ....	52
Gráfica 16. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Pulverizador #1.....	52
Gráfica 17. Comportamiento de la demanda en el Pulverizador #2. ....	53
Gráfica 18. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Pulverizador #2.....	54
Gráfica 19. Comportamiento de la demanda en el Extrusor #1. ....	55
Gráfica 20. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Extrusor #1.....	55
Gráfica 21. Comportamiento de la demanda en el Extrusor #2. ....	56
Gráfica 22. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Extrusor #2.....	56
Gráfica 23. Comportamiento de la demanda en la Mezcladora de Planta B.....	57
Gráfica 24. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Mezcladora de Planta B. ....	58
Gráfica 25. Comportamiento de la demanda en el Molino de Planta B.....	59
Gráfica 26. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino de Planta B. ..	59
Gráfica 27. Distribución porcentual de los equipos en estudio de acuerdo a su consumo energético promedio medido. ....	62
Gráfica 28. Gráfico de Pareto con base a el consumo energético mensual de los equipos en estudio. ....	63

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de Flujo de proceso de auditoría energética. ....	16
Ilustración 2. Tipos de estrategias de mantenimiento. ....	20
Ilustración 3. Esquema general del funcionamiento del proceso productivo.....	23
Ilustración 4. Recepción de granos como materia prima. ....	24
Ilustración 5. Esquema de un elevador tipo. ....	24
Ilustración 6. Molinos de martillos horizontales utilizados en Balanceados S.A. de C.V.....	25
Ilustración 7. Molino vertical utilizado en Balanceados S.A. de C.V.....	26
Ilustración 8. Tolva báscula tipo. ....	26

<i>Ilustración 9. Mezcladora B utilizada en Balanceados S.A. de C.V.</i>	27
<i>Ilustración 10. Representación gráfica de una matriz tipo.</i>	28
<i>Ilustración 11. Representación gráfica de una peletizadora tipo.</i>	28
<i>Ilustración 12. Pulverizadores 1 y 2, utilizados en Balanceados S.A. de C.V.</i>	29
<i>Ilustración 13. Área de extrusoras, utilizados en Balanceados S.A. de C.V.</i>	30
<i>Ilustración 14. Estado actual de las instalaciones eléctricas en Balanceados S.A. de C.V.</i>	32
<i>Ilustración 15. Etapas para la ejecución del diagnóstico energético.</i>	34
<i>Ilustración 16. Analizador de calidad eléctrica Fluke 438-II.</i>	38
<i>Ilustración 17. Analizador de calidad eléctrica Fluke 435-II.</i>	38
<i>Ilustración 18. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Peletizadora #1.</i>	65
<i>Ilustración 19. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Peletizadora #2.</i>	67
<i>Ilustración 20. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Extrusor #2.</i>	69
<i>Ilustración 21. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Extrusor #1.</i>	72
<i>Ilustración 22. Estado actual de los martillos, se puede observar deformación en los extremos.</i>	74
<i>Ilustración 23. Ejemplo de cuadro de registro y tendencia de medición de vibraciones.</i>	78
<i>Ilustración 24. Estado actual de paneles eléctricos de distribución de energía, donde se mezclan equipos de diferentes procesos de producción.</i>	81
<i>Ilustración 25. Medidor energético instalado en panel eléctrico de equipos de producción.</i>	81

## **ÍNDICE DE ECUACIONES**

<i>Ecuación 1. Indicador de relación consumo energético vs. producción.</i>	79
<i>Ecuación 2. Indicador de Cumplimiento de Actividades Programadas (CAP)</i>	79

## I. RESUMEN EJECUTIVO

Con una adecuada gestión de mantenimiento, orientada a la mantenibilidad de los equipos y a la mejora en la eficiencia de los procesos, se pueden tener impactos positivos en la rentabilidad del negocio. En la industria de alimentos balanceados se compite a través de obtener los mejores rendimientos nutricionales al menor costo posible. No se puede únicamente apuntarle a optimizar los costos de formulación a través de materias primas, sino que se vuelve sumamente importante buscar alternativas en planta.

Balanceados S.A. de C.V. es una empresa dedicada a la fabricación de alimentos balanceados en El Salvador con más de 50 años de trayectoria, sus alimentos se encuentran en tres presentaciones Peletizado, Extrusado y Harinas. La empresa es de capital 100% salvadoreño, y tiene un gran compromiso con la mejora continua. El desarrollo de este trabajo pretende generar una herramienta práctica guía a través de las observaciones y recomendaciones para optimizar y medir oportunidades de mejora a través de eficiencia energética dentro de la empresa Balanceados S.A. de C.V.; identificando los procesos medulares con sus equipos críticos para realizar un análisis de su comportamiento energético relacionado con su productividad con el fin de crear oportunidades de mejora que permitan tener beneficios financieros positivos, los cuales representan el 61% del consumo energético mensual.

El trabajo se ha estructurado de tal manera que se pueda visualizar a través de los análisis realizados en los equipos críticos de los procesos productivos establecidos la importancia de su medición, visualizando oportunidades de mejora tanto a nivel energético que pueden representar un ahorro anual por encima de los \$44,000 y de mantenibilidad que darán pauta a aumentar la productividad evitando paros no programados, con la finalidad de buscar aumentar la competitividad y rentabilidad de la organización.

## II. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo para la obtención del título de maestro en gerencia del mantenimiento industrial, busca presentar lineamientos clave que en la actualidad son medulares para las áreas de mantenimiento en la planta de alimentos balanceados en estudio; este departamento debe ser visto, dentro de la cadena productiva, como un área de creación directa del valor para cualquier industria, ya que son los responsables directos de garantizar disponibilidad de los activos de la empresa. Y en este caso se agrega el enfoque hacia los proyectos de eficiencia energética.

Es importante, sobre todo, que la visión del departamento se constituya dentro del marco de la planificación estratégica de la organización contemple la optimización de los recursos, minimización de los gastos y brindar soluciones eficaces para la mejora de la eficiencia en los procesos productivos; tomando en cuenta sustentos académicos, como el desarrollo de este trabajo, que permitan tomar las mejores decisiones de inversión.

La industria de alimentos balanceados actualmente es rica en cuanto a maquinaria e inclusión de procesos para la fabricación del producto terminado, evolucionando desde los molinos harineros que eran impulsados por agua, donde únicamente se dedicaban a la molienda de granos como el maíz y el trigo para alimentar a los humanos y no tan enfocado a la alimentación animal, hasta la actualidad con fábricas completamente automatizadas para garantizar una ración total alimenticia para distintas especies animales.

A nivel macro podemos decir que para la producción de un quintal (extrusión o peletizado) debe contemplarse el pesaje y transporte mecánico de materias primas, posteriormente pasar a través de transformaciones con molienda, formular harinas con la utilización de mezcladoras, proceso de post molienda, extrusión/peletizado, enfriado y empaque. Con esta cantidad de procesos, cada uno tiene una brecha grande de oportunidad de mejora para el control en la calidad y eficiencia de los productos, e incluso es una rama de estudio en ingeniería.

Es notable que la búsqueda de la optimización en los costos productivos pueda apuntar hacia estrategias enfocadas en la eficiencia energética, en cierta manera prematuras, cayendo en tentación de inversiones altas directamente en el aprovechamiento de energía solar, que puede verse opacada por la ineficiencia dentro de cada uno de los procesos internos, llámese falta de mantenimiento, equipo deteriorado, ineficiente, pérdidas de energía, etc. sin embargo, con una estructura operativa enfocada al control y análisis, pueden aprovecharse para realizar estrategias de mantenimiento preventivas que permitan

generar propuestas de mejora o incluso sustitución de equipo para el aumento de la eficiencia y reducción de los costos, para que estas inversiones iniciales puedan en algún momento rendir el fruto esperado.

Esto conlleva a que, como estrategia primordial en una planta de alimentos balanceados antes de abordar cualquier tipo de inversión de ahorro, se analice internamente cada uno de los desperdicios e ineficiencias generadas dentro de los procesos, auxiliándose de las estrategias establecidas por el modelo de gestión de mantenimiento preventivo de la planta, y enfocándose en los procesos principales de transformación.

El trabajo en cuestión plasma los resultados del análisis energético en los procesos principales previamente mencionados en una fábrica de alimentos balanceados, los cuales representan el 74% del costo de la facturación de energía eléctrica mensual, permitiendo dar una guía para conocer las oportunidades de mejora dentro de la planta debidamente respaldados que permitan realizar las recomendaciones para la optimización de los costos productivos y visualización de posibles inversiones.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Una gran parte de industrias son ricas en información “core” de su negocio, sin embargo, en cuanto a sus procesos, muchas veces se deja de lado la importancia de la documentación técnica de la planta, debido en ocasiones a la necesidad del crecimiento rápido, lecciones aprendidas o cultura. En la industria de alimentos balanceados, cada uno de los procesos productivos es un mundo, desde el transporte de materias primas a través de elevadores de cangilones, pasando por las básculas bacheras o de paso para las materias primas, siguiendo a las etapas respectivas de formulación, peletizado y/o extrusión, así también con el denominador común que es la molienda y finalizando con las áreas de empaque.

El comportamiento y dimensionamiento de la maquinaria en la industria de alimentos balanceados depende directamente del tipo de alimento, calidad de materias primas y fórmulas del alimento, con base en esto se definen factores importantes como las temperaturas, humedades, coeficiente de variación en mezcladoras, actividad de agua, etc.

Con base en lo mencionado, la correcta utilización, medición y mantenimiento de los equipos críticos que componen la fabricación de alimentos balanceados se vuelve uno de los pilares fundamentales en la eficiencia del proceso y la rentabilidad de la organización, que le permitan ser competitivos.

Balanceados S.A. de C.V. es una fábrica con más de 50 años de trayectoria en El Salvador, comprometidos con la mejora continua buscan nuevas alternativas de ahorro y mejora en sus procesos, sin embargo, hasta hace 4 años se comenzaron a desarrollar planes de mantenimiento preventivo, previo a esto, su modo de trabajo en el área de mantenimiento se limitaba a mantenimientos correctivos, sin documentación técnica de parámetros de los procesos críticos. Sin embargo, dentro del esquema actual del mantenimiento no se cuenta con un enfoque en el control a nivel energético de los equipos principales que les permita profundizar aún más en oportunidades de mejora continua para sus procesos.

Como antecedente importante se conoce que dentro del actuar del esquema de mantenimiento correctivo que se ejecutaba incluía el rebobinado de motores dentro de la planta, donde a muchos de ellos incluso se les borró su leyenda de la placa original, por lo que se recurre durante el levantamiento de los equipos en este estudio a los técnicos en la planta con mayor tiempo laboral para la obtención de estos detalles.

El desconocer el comportamiento energético de los equipos principales de la planta de producción limita las oportunidades de búsqueda de ahorros energéticos y posibles soluciones para el aumento de la productividad que permitan a la organización ser más competitivos; es por esto que la presente investigación se dirige a la búsqueda de la identificación de oportunidades de mejora en los equipos principales de los procesos productivos donde puedan existir posibles desperdicios de energía, eficiencia y problemas de mantenibilidad, permitiendo generar valores referenciales para el control de estos equipos.

## **IV. OBJETIVOS Y ALCANCE.**

### **Objetivo General**

Analizar el comportamiento energético de los procesos productivos principales de la planta de alimentos balanceados denominada Balanceados S.A. de C.V., con la finalidad de buscar oportunidades potenciales de mejora y estrategias sostenibles para su mantenimiento.

### **Objetivos específicos**

- Seleccionar los equipos principales representativos de la planta de producción para su análisis energético.
- Revisar y analizar los resultados obtenidos de las mediciones energéticas para la identificación de oportunidad de mejoras que permitan tener un impacto financiero positivo para la planta de producción.
- Establecer recomendaciones elementales para el desarrollo de actividades de mantenimiento predictivo que puedan aportar a la sostenibilidad del buen funcionamiento de los equipos.

### **Alcance**

Determinar las oportunidades de mejora basadas en los análisis energéticos realizados en los equipos principales que marcan el consumo de energía eléctrica, en cada uno de los procesos productivos de Balanceados S.A. de C.V.; generando propuestas de mejora que puedan servir para la optimización de los procesos, ahorro y sostenibilidad del mantenimiento.

## V. MARCO TEÓRICO

Con la finalidad de entender e identificar las oportunidades de mejora en los equipos principales, dentro de los procesos productivos, donde puedan existir oportunidades de mejora desde el punto de vista de eficiencia energética, mantenibilidad y control a través de indicadores, se vuelve necesario establecer el fundamento teórico que se toma de base para la realización de las actividades de campo y análisis.

La eficiencia energética es uno de los pilares fundamentales para conseguir la eficiencia productiva, en cualquier industria, y el primer paso para conseguirla es realizar una auditoría energética. Para ello, especialistas han desarrollado normativas, la ISO 50001 y 50002, donde se describe una serie de directrices para la aplicabilidad de la misma.

Ahora bien, para lograr la eficiencia energética no solo basta con establecer cambios o mejoras a los procesos y equipos, en específico para estos últimos, mantenerlos en condiciones ideales de operatividad. Para ello es necesario determinar y aplicar políticas de mantenimiento que hagan cumplir ese cometido.

Partiendo del hecho que, para lograr eficacia en políticas de eficiencia energética y mantenimiento, es necesario seguir los pasos o etapas del Ciclo de Deming, estrategia basada en la mejora continua, y que es donde la estrategia de indicadores muestra su importancia, ya que al diseñar e implementar, es necesario también verificar. Por lo que el desarrollo e implementación de indicadores ayuda a determinar que tan bien están funcionando las políticas implementadas.

A continuación, se desarrolla cada uno de los temas que involucran la base teórica con que se desarrolló esta investigación. Si bien se desarrollan en temas por separado, la interrelación entre ellos es necesaria para lograr los resultados establecidos en los objetivos y alcance, descritos en el numeral IV. OBJETIVOS Y ALCANCES.

### AUDITORÍA ENERGÉTICA

La eficiencia energética es un tema que concierne a todo tipo de industrias, ya sea públicas o privadas, pequeñas, medianas o grandes.

Por lo que una herramienta que aporta a una revisión del consumo energético, con el objetivo de obtener mejoras en el desempeño o una adecuada eficiencia, y que se describe

en la norma ISO 50001, es la Auditoría Energética, ya que proporciona el conocimiento sobre el consumo de energía.

Es importante resaltar que, en el año 2011, la Organización Internacional de Normalización, emite la norma ISO 50001, donde se establecen una serie de directrices de carácter general para la aplicabilidad de la eficiencia energética, basados en la metodología PDCA (Plan-Do-Check-Act / Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) o también conocido como Círculo de Deming. A partir de esta norma, en el año 2014, se emite la norma ISO 50002, donde se establece el proceso de auditoría energética.

La finalidad de este proyecto es hacer un análisis de la eficiencia energética en una planta de alimentos balanceados, además de, poder desarrollar indicadores y planes de mantenimiento que estén centrados en la eficiencia productiva. Por ello es importante definir términos como la eficiencia energética, las auditorías energéticas y algunos otros, y ampliar la perspectiva de este estudio.

**Eficiencia energética** es la proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía<sup>1</sup>.

**Auditoría energética** es la inspección y análisis sistemático del uso de energía y el consumo de energía de un objeto o conjunto de objetos auditado, con el propósito de identificar los flujos de energía y las oportunidades potenciales para mejorar el desempeño energético e informarlos<sup>2</sup>.

### **Elementos del proceso de una auditoría energética.**

El proceso de auditoría energética enmarcada en la norma ISO 50002 consta de las siguientes etapas, como se muestra en la Ilustración 1.

---

<sup>1</sup> Fuente: ISO 50001:2011, 3.8

<sup>2</sup> Fuente: ISO 50002:2014, 3.0

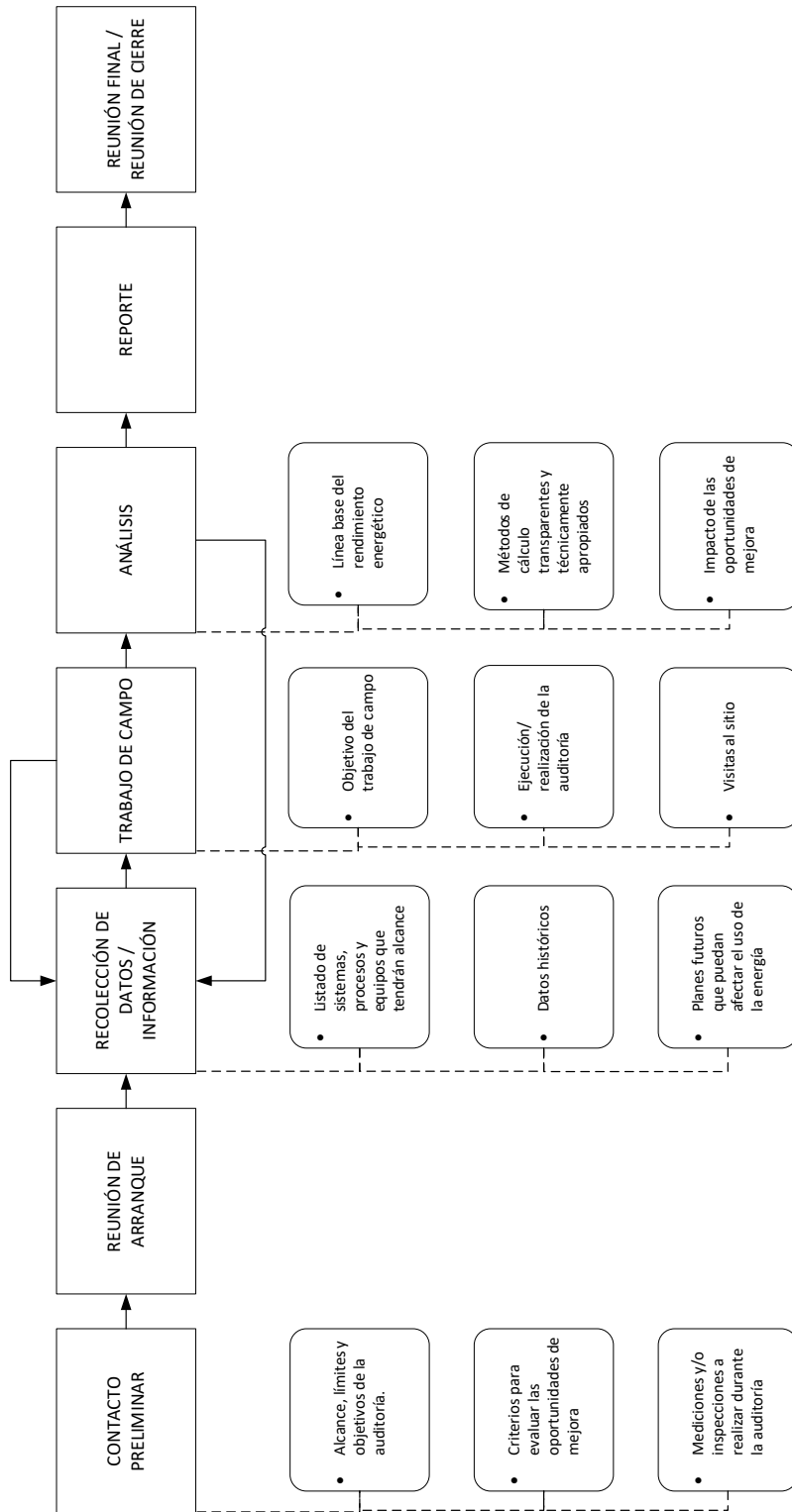


Ilustración 1. Diagrama de Flujo de proceso de auditoría energética.

Fuente: Elaboración propia – Adaptado de ISO 50002:2014, 5.Performing and energy Audit, 5.1 General.

**Contacto Preliminar.** En esta etapa inicial se realizarán acuerdos en cuanto a:

- El alcance, límites y objetivos de la auditoría energética;
- El nivel de detalle requerido;
- Periodo de tiempo para realizar la auditoría, así como los compromisos de tiempo y recursos necesarios por parte de la organización.
- Mediciones y/o inspecciones planeadas durante la realización de la auditoría energética.

Además, es en este punto donde se solicita información, tal como:

- Restricciones regulatorias internas o externas que puedan afectar el alcance planeado de la auditoría energética;
- Programa estratégico de gestión de las instalaciones, si lo hubiere;
- Resultados/entregables esperados;
- Si un borrador del informe final deberá ser presentado a la organización para su revisión y comentarios.

**Reunión de Arranque.** El propósito de la reunión de arranque es el de exponer a todas las partes interesadas e involucradas, sobre el alcance, objetivos, límites y el nivel de detalle de la auditoría energética que se realizará. Dentro de esta reunión se establece la persona responsable y el equipo de trabajo por parte de la organización que estarán colaborando durante la ejecución de la auditoría, ya sea proporcionando información necesaria, así como informar al personal afectado y otras partes interesadas, mientras la auditoría se está realizando. También, se establecen los accesos, las normas de seguridad industrial y física; así como se detalla un programa con las visitas a realizarse y los procedimientos a seguir para la instalación de equipos de medición.

**Recolección de Datos/Información.** Dentro de esta etapa se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Listado de sistemas, procesos y equipos consumidores de energía.
- Datos históricos: consumo energía y variables relevantes.
- Tarifa actual o de referencia que será utilizada en los cálculos de análisis financieros.
- Auditorías de energía o estudios previos relacionados con el uso de la energía y la eficiencia energética.
- Documentos de diseño, operación y mantenimiento.
- Planes futuros que afecten el uso de la energía (planes de expansión o cambio de volumen de producción, o planes de cambio de equipos).

## **Trabajo de Campo.**

### Objetivo del trabajo de campo.

El auditor deberá inspeccionar los objetos y definir/detallar los límites de la auditoría, así como comprender las rutinas de operación/funcionamiento, para determinar el impacto en el consumo de energía y la eficiencia energética. Es acá donde también se generan ideas preliminares de oportunidades, cambios operativos y tecnologías para lograr mejorar el desempeño energético.

### Ejecución/realización de la auditoría.

El auditor deberá asegurarse que las mediciones y observaciones se realizan de una manera confiable y en situaciones que son representativas de la operación normal. Así también debe informar a la organización, si se presentasen dificultades inesperadas y que puedan afectar la programación establecida y el alcance de la auditoría como tal.

### Visitas al sitio.

El auditor deberá identificar uno o más individuos que actúen como guía y orientador para el auditor durante las visitas al sitio según sea necesario. Además, serán el apoyo durante la instalación de registradores o equipos de monitoreo de energía. Y luego también, facilitar el acceso a dibujos, diagramas, planos, manuales y otra documentación técnica relacionada con la instalación.

## **Análisis.**

En esta etapa es donde se relaciona la situación existente con el rendimiento energético del objeto o sistema auditado. Se determina la línea base del rendimiento energético, la cual debe elaborarse tomando en consideración:

- Un desglose del consumo de energía discriminado por uso y fuente;
- Los flujos de energía y donde sea pertinente un balance de energía del objeto auditado;
- Patrón histórico de consumo de energía,
- Etc.

Además, se evalúa el impacto que cada oportunidad identificada tendrá sobre el desempeño energético actual, basándose en: ahorro económico, inversiones necesarias, retorno de la inversión y otras posibles ganancias adicionales a lo energético. Las oportunidades para mejorar el desempeño energético deben ser clasificadas y priorizadas de acuerdo con los criterios acordados.

El auditor deberá evaluar la confiabilidad de los datos suministrados, usar métodos de cálculos transparentes y técnicamente apropiados, para luego documentar los métodos utilizados y cualquier supuesto realizado.

**Reporte.**

El contenido exacto del informe deberá ser pertinente al alcance, los límites y el objetivo de la auditoría energética. Las partes macro del reporte deberán ser:

- Resumen ejecutivo.
- Antecedentes.
- Auditoría energética.
- Oportunidades para la mejora de la eficiencia energética.
- Conclusiones y recomendaciones.

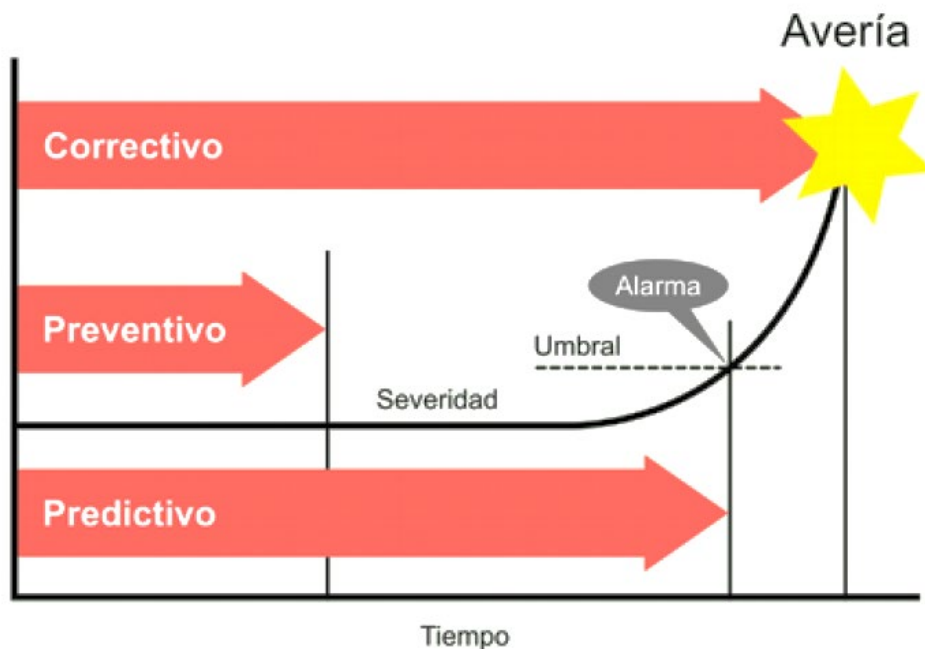
**Reunión Final / Reunión de Cierre.**

Durante esta se realiza la distribución del reporte a las partes interesadas de la organización, se presentan los resultados de la auditoría energética de una manera que facilite la toma de decisiones por parte de la organización.

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

La necesidad de reducción de los costos derivados de las bajas disponibilidades de las máquinas y de las consiguientes paradas de producción lleva a las áreas de mantenimiento a programar revisiones periódicas con el objeto de mantener las máquinas en el mejor estado posible y reducir así su probabilidad de fallo. Esta técnica conocida como mantenimiento preventivo, presenta una incertidumbre asociada al costo adicional que genera.

Como consecuencia de la incertidumbre que presenta el mantenimiento preventivo y con el apoyo del desarrollo tecnológico, se desarrolló un nuevo concepto de mantenimiento basado en la condición o estado de los equipos. Este tipo de intervención se conoce como mantenimiento predictivo, y viene a suponer toda una revolución dada su filosofía de anticipación a la avería por medio del conocimiento de cómo se comportan los equipos y cómo deberían de hacerlo, conociendo de este modo previamente qué elemento puede fallar y cuándo.



*Ilustración 2. Tipos de estrategias de mantenimiento.  
Fuente: Manual Análisis de Vibraciones, Power-MI.*

En el mantenimiento predictivo o por condición, evaluamos el estado de los componentes mecánicos o eléctricos mediante técnicas de seguimiento y análisis, permitiéndonos programar las operaciones de mantenimiento cuando realmente sean necesarias. Consiste principalmente en el estudio y análisis de ciertas variables relacionadas con el estado o condición del equipo que está en mantenimiento, como por ejemplo: la vibración, la temperatura, calidad del aceite, aislamiento, etc. El estudio de estas variables nos provee información del estado de sus componentes y, algo también muy importante, del modo en que está funcionando dicho equipo, permitiéndonos no sólo detectar problemas de componentes sino también de diseño y de instalación. El objetivo del mantenimiento predictivo es la reducción de los costos de operación y de mantenimiento, incrementando la fiabilidad del equipo.

La base del mantenimiento predictivo radica en la monitorización de los equipos, ya que debemos evaluar las variables antes comentadas con la instalación en funcionamiento normal. No es necesario, por tanto, hacer una parada para evaluar la condición de estos, conocemos el estado de los equipos mientras están trabajando.

Con las diferentes técnicas disponibles podemos evaluar los fallos en los componentes y seguir su evolución durante largos períodos de tiempo (en ocasiones meses) antes de decidir la intervención, de esta manera se coordina con producción el momento más adecuado para la intervención de mantenimiento.

## IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN ADECUADA DE LOS INDICADORES.

El determinar o escoger indicadores que midan el rendimiento, debe ser una importante decisión, que a su vez desencadena implicaciones potenciales, por lo que se sugiere lo siguiente<sup>3</sup>:

- El papel de los indicadores clave de rendimiento debería ser la visión y predicción del futuro.
- Los indicadores deben utilizarse para proporcionar información, fomentar el entendimiento y la motivación.
- Orientar esfuerzos hacia un pensamiento sistemático, hacia el cambio estructural fundamental y el aprendizaje organizacional.
- Asegurar que los indicadores clave de rendimiento son un marco para que todos entiendan y se alinean con los objetivos de máximo nivel de la organización.

Cada indicador debe tener un nivel de rendimiento actual y nivel de rendimiento esperado como objetivo. Estos objetivos deben ser específicos, medibles y realizables, sin olvidar el reto y exigencia, realistas y en base al tiempo.

La frecuencia con la que se medirán estos indicadores deberá depender del tiempo realmente necesario que se debe esperar para que las acciones correctivas puedan tener un impacto notable en el medidor. El tiempo, costos y recursos necesarios para desarrollar, mantener y gestionar los indicadores clave de rendimiento debe ser un aspecto a tomar en cuenta.

---

<sup>3</sup> Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Parra y Crespo (2015).

## **VI. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.**

### **Descripción General.**

La empresa en la cual se desarrolla el trabajo de graduación es una empresa de capital 100% salvadoreño, líder y referente dentro de la fabricación de alimentos balanceados. Actualmente su capacidad de fabricación es en harinas, peletizado y extrusado, abasteciendo a la sociedad salvadoreña en promedio por encima de 120,000 quintales mensuales. El crecimiento de la misma con los años ha incentivado a la alta gerencia a dar una apuesta por la automatización, estandarización de sus procesos y sobre todo al enfoque hacia la calidad.

La estructura de los procesos productivos de la empresa surge a través de nuevos sistemas de gestión desarrollados desde el área de ingeniería y mantenimiento, con la finalidad de generar estándares organizacionales que permitan tener el control de los procesos de cara a las inversiones en automatización para la ampliación de capacidad de la industria.

Los departamentos de Producción, Ingeniería, Mantenimiento y Calidad, trabajan en una sinergia que está permitiendo lograr avances significativos en la competitividad de la industria, analizando las variables de mayor incidencia dentro de cada uno de los procesos.

### **Sistema de Gestión.**

Actualmente en la empresa donde se desarrolla el trabajo de graduación, su enfoque de gestión se basa en la calidad y el mantenimiento productivo total. La medición es uno de los aspectos de mayor realce, de los cuales a través del trabajo de graduación se ha incentivado a las técnicas de mantenimiento predictivo que permitan obtener variables de comportamiento en los equipos críticos para los procesos.

### **Detalles sobre el proceso productivo.**

Es importante que, para entender los resultados de los análisis efectuados, debemos primero comprender la naturaleza de cada uno de los equipos analizados, y así realizar su símil con el comportamiento detectado.

Se detalla a continuación la explicación general de los procesos productivos para la fabricación de alimento balanceado por harinas, peletizado y extrusado.

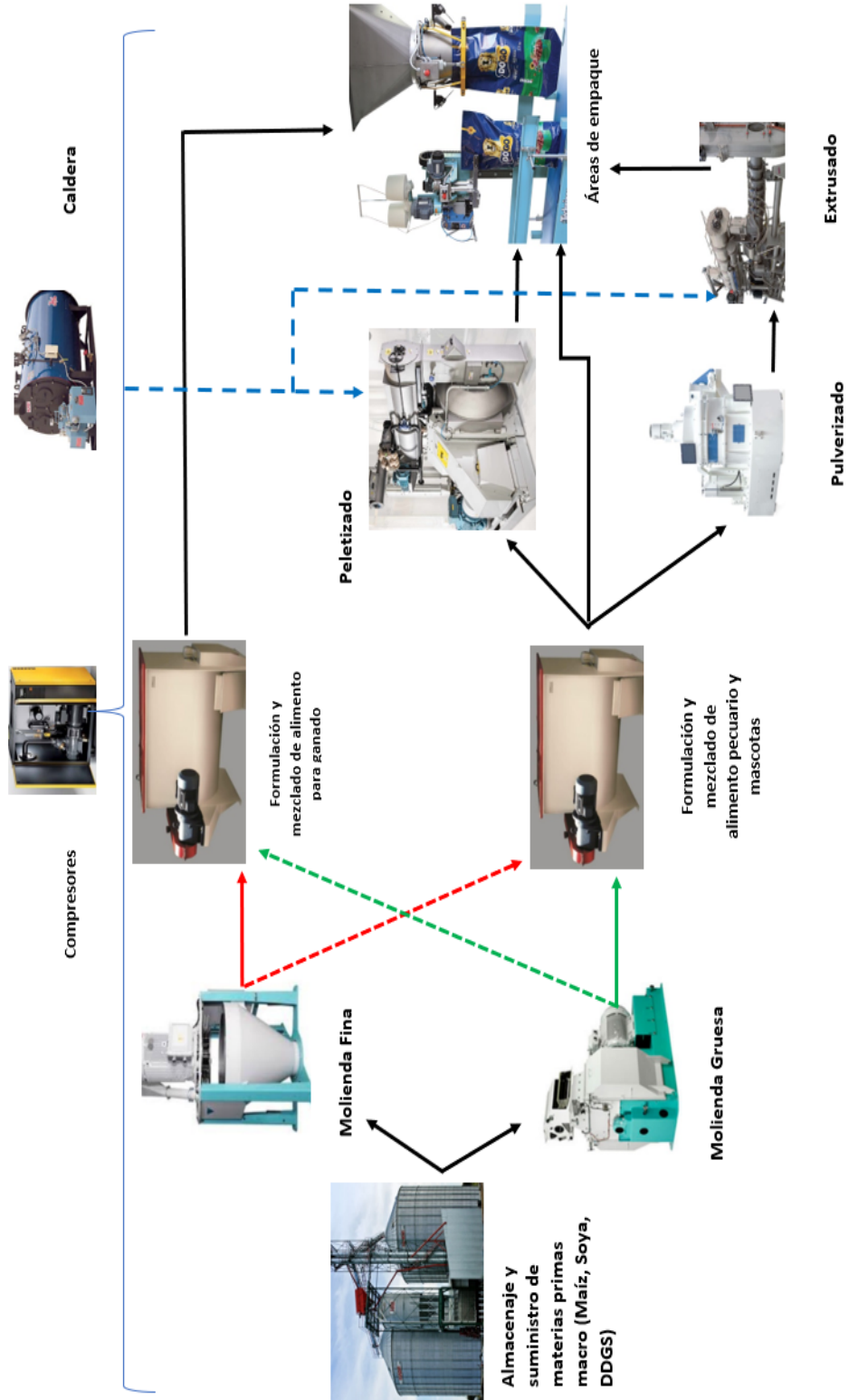


Ilustración 3. Esquema general del funcionamiento del proceso productivo.  
 Fuente: Material de Inducción para explicación del proceso productivo para personal de nuevo ingreso en Balanceados S.A. de C.V.

## Almacenaje y suministro de materias primas

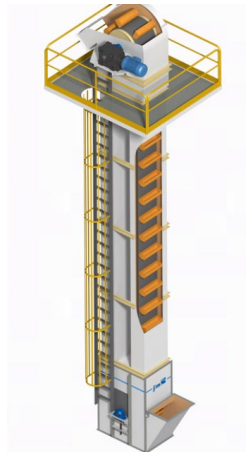
El proceso comienza con la recepción de granos como materias primas macro, principalmente maíz, soya y DDGS (Dried Distillers Grains Solubles – Granos Secos de Destilería con Solubles), los cuales son almacenados en silos y/o bodegas que son recibidos en una tolva subterránea que consecuentemente pasan a través de transporte mecánico con la ayuda de transportadores helicoidales y elevadores, para llegar a su destino de almacenaje dentro de la planta de producción.



*Ilustración 4. Recepción de granos como materia prima.*

*Fuente: Material de Inducción para explicación del proceso productivo para personal de nuevo ingreso en Balanceados S.A. de C.V.*

El elevador principal de recepción es un punto crítico para la marcha de la planta de producción de Balanceados S.A. de C.V. puesto que marca la disponibilidad de la materia prima base para la fabricación de los productos.



*Ilustración 5. Esquema de un elevador tipo.*

*Fuente: Material de Inducción para explicación del proceso productivo para personal de nuevo ingreso en Balanceados S.A. de C.V.*

## Molienda

Se debe entender que, para la fabricación de alimentos balanceados, la molienda es una parte fundamental, ya que se debe fracturar la cubierta de la semilla de los granos para que las especies puedan aprovechar los nutrientes al máximo, para ello es necesario realizar molienda de materias primas, las cuales en Balanceados S.A. de C.V. se dividen en dos. El principio de molienda es similar para cualquier aplicación de molino, ya que existen diversas variaciones en función de la granulometría necesaria. Pero básicamente, la molienda radica en que el producto entra por la parte superior del molino por medio de la gravedad, llegando a la cámara donde se encuentran los martillos para impactar el grano contra una malla que define la reducción del tamaño de partícula a requerir.

### Molienda Gruesa

Se realiza a través de 3 molinos de martillos horizontales, los cuales están destinados para las moliendas de materia primas principalmente maíz y soya. Identificados durante este trabajo como Molino 2, Molino 3 y Molino B. Se recalca que no se cuenta con fichas técnicas de los molinos puesto fueron fabricados localmente en El Salvador. La molienda gruesa está destinada para los procesos de fabricación de alimento para ganado y harina de aves, por el tipo de granulometría obtenida.



*Ilustración 6. Molinos de martillos horizontales utilizados en Balanceados S.A. de C.V.  
Fuente: Equipos instalados en Balanceados S.A. de C.V.*

### Molienda fina

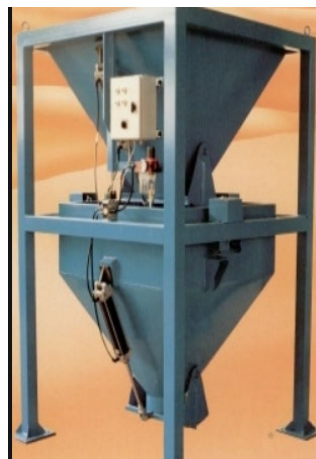
El principio de la molienda fina es similar, sin embargo, la variante es que se realiza en un molino vertical el cual es de origen holandés, que permite una mayor cantidad de reducción en tamaño de partícula, ideal para los procesos de peletizado y extrusado. Este molino está identificado como “Molino 4”.



*Ilustración 7. Molino vertical utilizado en Balanceados S.A. de C.V.  
Fuente: Equipo instalado en Balanceados S.A. de C.V.*

### **Proceso de formulación y mezclado**

Una vez las materias primas se encuentran con el tamaño de partícula adecuado para la fabricación de los alimentos, la harina obtenida se almacena en tolvas denominadas “tolvas de formulación”, de donde el sistema de pesaje automático, fórmula o suministra la cantidad necesaria, según la receta del alimento. Las materias primas previo a su mezclado son pesadas en una tolva báscula que permite garantizar la exactitud de la receta del alimento.



*Ilustración 8. Tolva báscula tipo.  
Fuente: Material de Inducción para explicación del proceso productivo para personal de nuevo ingreso en Balanceados S.A. de C.V.*

Las 3 mezcladoras con las que cuenta Balanceados S.A. de C.V. son Mezcladora A, Mezcladora B y Mezcladora F. La Mezcladora A y B son utilizadas directamente para la fabricación de concentrados para ganado, los cuales son directamente empacados posterior a su ciclo de mezclado. Mientras que la Mezcladora F es utilizada para los alimentos en harina para aves las cuales son directamente empacadas, peletizados y extrusados. Estas mezcladoras marcan el ritmo de la planta de producción pues son las encargadas de realizar la homogeneización de los alimentos, para que puedan ser procesados.



*Ilustración 9. Mezcladora B utilizada en Balanceados S.A. de C.V.  
Fuente: Equipo instalado en Balanceados S.A. de C.V.*

## **Peletizado**

El peletizado es un proceso que se logra una vez formulada la mezcla del alimento, mediante una combinación mecánica con humedad, temperatura y presión. Una de las grandes ventajas de los alimentos peletizados es que permite la reducción en la segregación de los diferentes ingredientes dentro del alimento terminado, para que las especies animales (pollos, bovino, porcino, etc.) puedan consumir un alimento equilibrado.



*Ilustración 10. Representación gráfica de una matriz tipo.*

*Fuente: Material de Inducción para explicación del proceso productivo para personal de nuevo ingreso en Balanceados S.A. de C.V.*

El proceso de peletizado comienza en el acondicionamiento de la materia prima previamente formulada, con vapor que posteriormente llegan a la recámara principal de la máquina donde unos rodillos hacen pasar la mezcla de alimento a través de una matriz. Balanceados S.A. de C.V. cuenta con dos máquinas peletizadoras las cuales se identifican como Peletizadora 1 y Peletizadora 2 para su respectivo análisis.



*Ilustración 11. Representación gráfica de una peletizadora tipo.*

*Fuente: Material de Inducción para explicación del proceso productivo para personal de nuevo ingreso en Balanceados S.A. de C.V.*

## Extrusado

En el caso puntual de la extrusión, la harina una vez formulada debe pasar por un proceso conocido como post-molienda o pulverizado, que permite obtener el tamaño de partícula idóneo para la extrusión.

## Pulverizado

Balanceados S.A. de C.V. cuenta con dos líneas de post molienda, los dos equipos principales son los molinos, uno horizontal de martillos de origen americano y otro vertical de origen chino, identificados como Pulverizador 1 y Pulverizador 2.



*Ilustración 12. Pulverizadores 1 y 2, utilizados en Balanceados S.A. de C.V.  
Fuente: Equipos instalados en Balanceados S.A. de C.V.*

Una vez la mezcla se encuentra debidamente pulverizada, pasa directamente a las tolvas de alimentación del proceso de extrusión, ya que el tamaño de las partículas que entren al proceso tiene una injerencia directa en la apariencia, calidad y aceptabilidad por parte de las mascotas para su aceptación. En la zona de extrusión antes de llegar al equipo principal la mezcla pulverizada, se pasa por un proceso de pre-acondicionamiento en un cilindro con una temperatura entre los 80-100 °C, donde finalmente llegan al equipo principal compuesto por tornillos que hacen llegar el alimento hasta una matriz con la figura de la croqueta. Balanceados S.A. de C.V. cuenta con dos máquinas extrusoras similares, de origen norteamericano, las cuales son identificadas como Extrusor 1 y Extrusor 2.



*Ilustración 13. Área de extrusoras, utilizados en Balanceados S.A. de C.V.  
Fuente: Equipos instalados en Balanceados S.A. de C.V.*

## VII. METODOLOGÍA.

El estudio en Balanceados S.A. de C.V. se desarrollará a través de metodologías cuantitativas que permita establecer las bases para la implementación de mejoras en el ámbito de consumo energético. Se recopiló información técnica de los equipos que componen los procesos productivos, y que en conjunto con el área de mantenimiento, fueron identificados en varias visitas de campo, esto incluye datos teóricos o datos nominales de placa, medición de parámetros eléctricos y energéticos.

En base a lo anterior, a continuación, se establecen los alcances dentro de los procesos productivos que componen el sistema de producción de Balanceados S.A. de C.V., así como los límites y las fases de análisis y diagnóstico.

### Alcance.

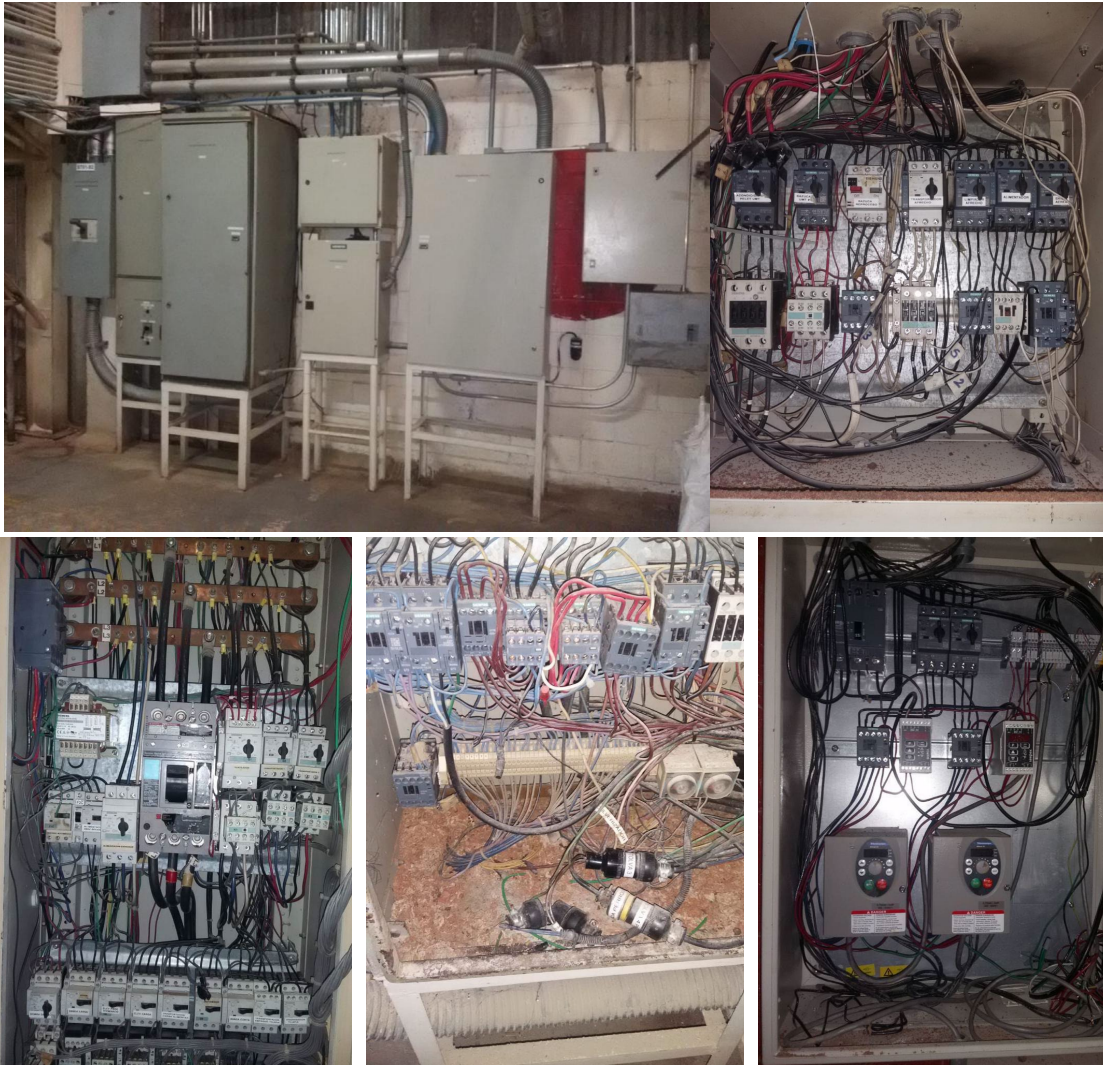
Los procesos productivos que componen el sistema de producción de la compañía son:

1. Descarga y almacenaje de materia prima (silos y volcanes).
2. Suministro de materia prima en proceso (silos y volcanes).
3. Molienda Fina.
4. Molienda Gruesa.
5. Premezcla.
6. Ganado Harina.
7. Formulación y Otros.
8. Peletizado.
9. Empaque Bolsa Harina/Pelet.
10. Producto Terminado Granel Harina/Pelet.
11. Pulverizado Mascota/Pelet.
12. Extrusado.
13. Empaque Mascotas 44/50 lbs.
14. Empaque Menor a 44 lbs.
15. Planta Ganado B.

En una de las visitas preliminares que se realizó a Balanceados S.A. de C.V., durante la cual se conoció de manera más detallada el estado de las instalaciones en compañía del personal de mantenimiento, se observaron los siguientes aspectos importantes:

- No se cuenta con diagramas eléctricos a detalle de las conexiones en planta, ejemplo: paneles de distribución de suministro eléctrico hacia cada uno de los procesos productivos.

- No se cuenta con documentación de parámetros eléctricos de los motores principales, por ejemplo: consumo de corriente, factor de potencia, etc.
- Los dispositivos eléctricos, objetos de estudio, cuentan con placa de identificación, pero con algunos datos ilegibles, como por ejemplo la eficiencia.
- Existe una dependencia de los técnicos con mayor antigüedad para la ubicación de conexiones eléctricas críticas.



*Ilustración 14. Estado actual de las instalaciones eléctricas en Balanceados S.A. de C.V.  
Fuente: Imágenes tomadas durante visitas de inspección.*

Lo anterior dificulta realizar mediciones eléctricas a cada uno de los procesos y determinar el perfil de carga y consumo energético con base a la clasificación de ellos. Por lo que se decidió realizar, con base a la experiencia e identificación de las áreas productivas y de

mantenimiento, los equipos de consumo significativo para cada uno de los procesos anteriormente descritos. Siendo los equipos seleccionados los siguientes:

Proceso Productivo	Denominación en Planta
Molienda Fina	Molino 1
Molienda Gruesa	Molino 2
Molienda Gruesa	Molino 3
Ganado Harina "A"	Mezcladora
Formulación aves	Mezcladora
Peletizado	Peletizadora #1
Peletizado	Peletizadora #2
Pulverizado mascotas/pellet	Molino Pulverizador 1
Pulverizado mascotas/pellet	Molino Pulverizador 2
Extrusado	Extrusor #1
Extrusado	Extrusor #2
Planta Ganado B	Mezcladora
Planta Ganado B	Molino

*Tabla 1. Equipos (motores eléctricos) con consumo significativo en los procesos de producción, seleccionados con criterios establecidos por las áreas de producción y mantenimiento.*

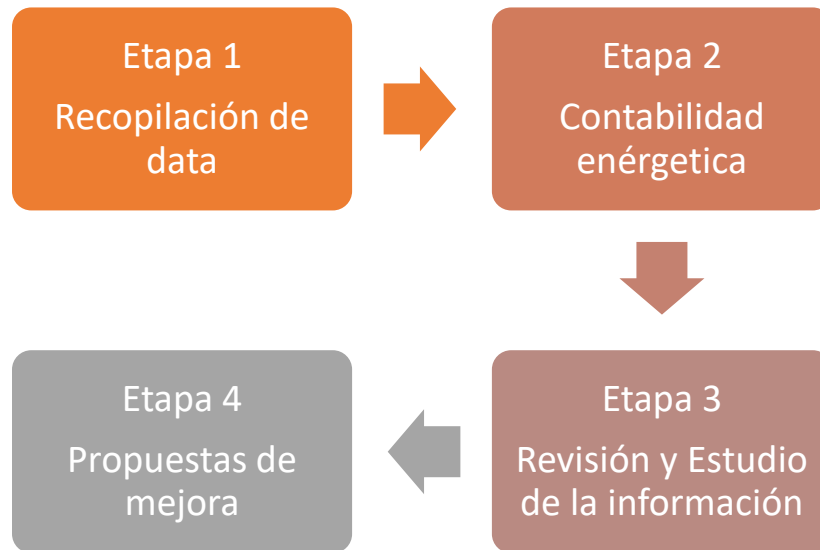
*Fuente: Elaboración propia.*

## Límites.

Es por tanto que el trabajo delimita su análisis a los equipos de la Tabla 1 debido a que son los equipos principales para la fabricación de alimentos balanceados y en función a su óptima utilización y búsqueda de ahorro energético se puede tener un impacto financiero positivo que le permita a la organización ahorrar, apostarles a proyectos de mejora continua y mejorar sus ganancias. Los procesos periféricos y de transporte quedan fuera del análisis de este trabajo. Una de las finalidades de este trabajo, entre otras, es poder enfocar la importancia del control y análisis de estos equipos principales que marcan el paso de las plantas de alimentos balanceados en función de los quintales por hora producidos.

## Fases del análisis y diagnóstico energético.

Para el desarrollo del análisis y diagnóstico energético, se desarrollaron las siguientes etapas:



*Ilustración 15. Etapas para la ejecución del diagnóstico energético.  
Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se desarrollarán y presentarán los resultados de mayor importancia de cada una de las etapas antes descritas, con el objetivo de establecer las medidas de mejora que mayor beneficio generen a la compañía.

## **VIII. Recopilación de data.**

Se tuvieron diversas reuniones con el personal de producción y mantenimiento de la compañía, para conocer la información que podría ser proporcionada y que ayudara a establecer un patrón de comportamiento de los equipos en estudio y de esta manera determinar un perfil de consumo energético óptimo. Entre la información que fue proporcionada está:

- Diagrama unifilar del sistema eléctrico macro de planta.
- Facturas por el suministro energético de un año calendario (abril 2020 a marzo 2021)
- Detalle energético de los equipos y/o sistemas en estudio.
- Detalles sobre el funcionamiento del proceso productivo.

## Facturación de suministro de energía de la planta.

Los datos de facturación del suministro de energía eléctrica utilizados para los análisis comparativos con los equipos en estudio se obtuvieron del año 2020, que son:

DETALLE DE CONSUMO ENERGÉTICO FACTURADO – AÑO 2020					
Mes	Período Facturado	Consumo Energético (kWh)			
		Activa Punta	Activa Valle	Activa Resto	Sub-Total
Enero	17/12 al 16/01	50990.50	60706.00	120650.00	232346.50
Febrero	17/01 al 14/02	49085.50	51689.00	115633.50	216408.00
Marzo	15/02 al 16/03	44577.00	53022.50	107251.50	204851.00
Abril	17/03 al 16/04	55372.00	61912.50	116141.50	233426.00
Mayo	17/04 al 15/05	48069.50	51181.00	115570.00	214820.50
Junio	16/05 al 15/06	45021.50	45339.00	108775.50	199136.00
Julio	16/06 al 16/07	48704.50	50546.00	117475.00	216725.50
Agosto	17/07 al 14/08	43116.50	41783.00	98488.50	183388.00
Septiembre	15/08 al 14/09	56134.00	57086.50	127952.50	241173.00
Octubre	15/09 al 15/10	44894.50	42959.00	111633.00	199486.50
Noviembre	16/10 al 13/11	50927.00	53975.00	127254.00	232156.00
Diciembre	14/11 al 14/12	56705.50	63055.50	136271.00	256032.00
<b>Totales</b>		<b>593598.00</b>	<b>633255.00</b>	<b>1403096.00</b>	<b>2629949.00</b>

*Tabla 2. Resumen del consumo energético de la empresa “Balanceados S.A. de C.V.” durante el año 2020.*

*Fuente: Facturas por consumo energético emitidos por la empresa distribuidora – Elaboración propia.*

## Detalle energético de los equipos y/o sistemas en estudio.

Los datos nominales de placa, para cada uno de los equipos en análisis, se muestran en la siguiente tabla:

Proceso Productivo	Denominación en Planta	Marca	Características Eléctricas		
			Potencia (hp)	Tensión Eléctrica (V)	Eficiencia ( $\eta$ ) <sup>4</sup>
Molienda Fina	Molino 1	Baldor	50	460	89.00%
Molienda Gruesa	Molino 2	Baldor	50	460	<u>93.00%</u>
Molienda Gruesa	Molino 3	ABB	120	440	<u>93.00%</u>
Ganado Harina "A"	Mezcladora	Baldor	50	460	93.00%
Formulación aves	Mezcladora	X	60	460	93.60%
Peletizado	Peletizadora #1	Elsktrim	140	460	80.00%
Peletizado	Peletizadora #2	Hoyer motor	120	460	88.00%
Pulverizado mascotas/pellet	Molino Pulverizador 1	WEG	100	460	93.60%
Pulverizado mascotas/pellet	Molino Pulverizador 2	SIEMENS	200	460	88.00%
Extrusado	Extrusor #1	SIEMENS	140	460	87.00%
Extrusado	Extrusor #2	WEG	125	460	86.00%
Planta Ganado B	Mezcladora	X	40	460	86.00%
Planta Ganado B	Molino	X	50	460	<u>93.00%</u>

*Tabla 3. Especificaciones principales de los equipos en estudio.*

*Fuente: Elaboración Propia.*

<sup>4</sup> Los valores de eficiencia subrayados son asumidos, ya que dicho valor en la placa de identificación del equipo no es legible. El valor asumido es considerando un equipo de capacidad equivalente y similar año de fabricación.

## IX. Contabilidad Energética.

Debido a las restricciones de medición, para conocer el consumo energético de los procesos de producción de la planta Balanceados S.A. de C.V., y tal como se determinó en el apartado “Metodología/Alcance”, el conocer los datos de placa de los equipos en estudio, permitió determinar el consumo y demanda nominal de éstos.

Además, se realizaron mediciones del consumo energético y demanda de potencia de los equipos en estudio, y tener así el dato real de estos valores para un determinado periodo de tiempo. Esto permitió, entre otras cosas, obtener el factor de carga de cada uno de éstos, logrando así determinar el porcentaje de la capacidad de los motores que están siendo utilizados.

### Programación de mediciones eléctricas en la planta de producción.

Las mediciones en cada uno de los equipos clasificados como principales, y seleccionados con anterioridad, se realizaron con base en la siguiente programación:

Item	Proceso a realizar medición de consumo energético y variables eléctricas.	Período de Medición (días)	Nov. 20				Dic. 20				Ene. 21				Feb. 21			
			S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1	Molienda Fina (Molino 1)	7	■															
2	Molienda Gruesa (Molinos 2 y 3)	14		■	■													
3	Ganado Harina "A" (Mezcladora)	7				■												
4	Formulación Aves (Mezcladora)	7					■											
5	Peletizado (Peletizadora 1 y 2)	14						■	■									
6	Pulverizado mascotas/pellet (Molino Pulverizador 1 y 2)	14									■	■						
7	Extrusado (Extrusor 1 y 2)	14											■	■				
8	Planta Ganado B (Molino y Mezclador)	14													■	■		

Tabla 4. Programación para la ejecución de mediciones de factores eléctricos.

Fuente: Elaboración Propia

Las mediciones a cada uno de los equipos se realizaron durante un promedio de 7 días, cada uno, con la finalidad de obtener el mejor perfil de comportamiento posible. Las mediciones se iniciaron durante la semana 45 del año 2020 y finalizaron en la semana 6 del año 2021. Luego se procedió a consolidar toda la información y a realizar los análisis correspondientes.

### Equipos de Medición.

Para llevar a cabo las mediciones de consumo y factores energéticos, se contó con dos equipos analizadores de redes eléctricas, proporcionados en calidad de préstamo, propiedad de la Universidad José Simeón Cañas “UCA”.

Los modelos y especificaciones de los equipos utilizados son:

**Analizador de Redes FLUKE 438 ii.**



*Ilustración 16. Analizador de calidad eléctrica Fluke 438-II.*

*Fuente: <https://www.fluke.com/es-sv/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/438-ii>*

**Analizador de Redes FLUKE 435 ii.**



*Ilustración 17. Analizador de calidad eléctrica Fluke 435-II.*

*Fuente: <https://www.fluke.com/es-sv/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435>*

Ambos equipos fueron utilizados para mediciones de factores energéticos en la planta y se obtuvieron lecturas monofásicas, trifásicas y gráficas, de parámetros eléctricos como: tensión eléctrica, corriente, factor de potencia, potencia activa, energía activa, entre otras, del comportamiento de los equipos y máquinas.

Procedimiento de medición y presentación de datos.

1. Medición de parámetros eléctricos, mediante los equipos antes mencionados, y en los periodos de tiempo, también detallados con anterioridad.
2. Graficar la “Potencia Activa Total Media” para construir la curva monótona de carga para cada uno de los equipos en estudio, verificar y validar el correcto funcionamiento de éstos.
3. Calcular la moda mediante el uso de la herramienta “Excel”, para establecer la “Potencia Activa Media” medida

De acuerdo al historial de producción, y con base en lineamientos establecidos por el área de Producción, el tiempo teórico de funcionamiento por equipos, en horas, durante un mes típico, son:

Proceso / Equipo	Tiempo (horas)
Molienda Fina – Molino 1	279
Molienda gruesa - Molino 2	375
Molienda gruesa - Molino 3	258
Ganado Harina "A" - Mezcladora	365
Formulación Aves - Mezcladora	376
Peletizado - Peletizadora #1	402
Peletizado - Peletizadora #2	410
Pulverizado – Molino Pulverizador #1	142
Pulverizado – Molino Pulverizador #2	117
Extrusado - Extrusor #1	354
Extrusado - Extrusor #2	442
Ganado Harina "B" - Mezcladora	72
Ganado Harina "B" - Molino	62

*Tabla 5. Tiempo promedio efectivo de operación de los equipos en estudio.  
Fuente: Promedio obtenido de los datos recolectados en los horómetros conectados a los equipos en estudio.*

## X. REVISIÓN Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN.

Los 13 equipos seleccionados son el corazón de esta planta de producción de alimentos balanceados, por tanto, su análisis respectivo está en función de la cantidad de quintales producidos durante el periodo de tiempo evaluado, logrando así visualizar el costo por quintal a nivel energético, sustentando observaciones y propuestas de mejora; los cálculos en función del costo de energía se han tomado con un precio promedio de **\$0.15 por kWh**.

### Molienda Fina

#### Características

Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad real promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Molienda Fina	Motor eléctrico	Molino 1	120	110	279

*Tabla 6. Características de equipos analizados en el proceso molienda fina.*

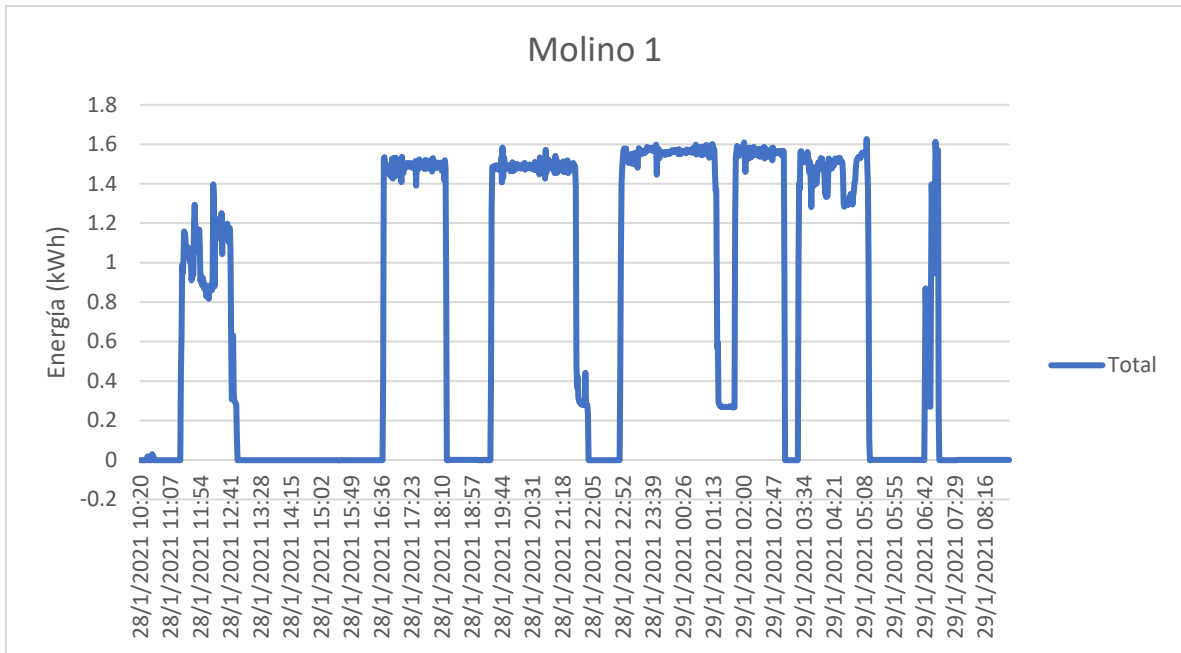
*Fuente: Elaboración Propia.*

#### Molino 1

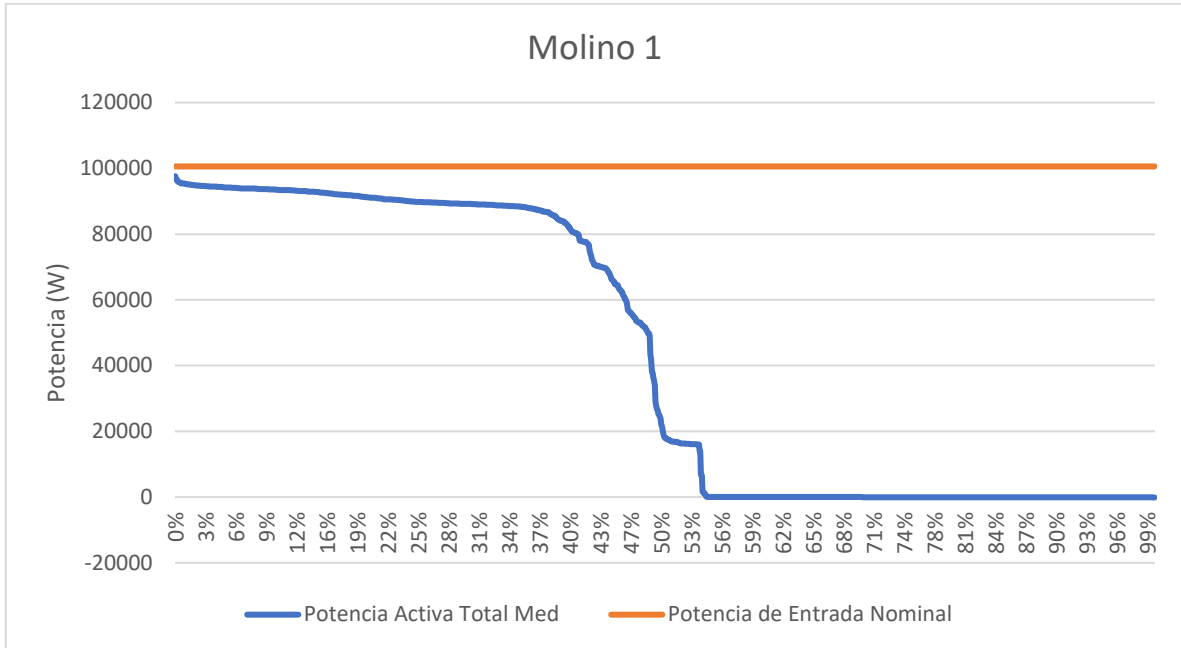
El Molino 1 está dedicado a realizar molienda fina de maíz, se le denomina molienda fina ya que llega a parámetros por debajo de los 1000 micrones, especialmente dedicado para los procesos de extrusado y peletizado.

El comportamiento del molino durante el periodo evaluado se demuestra que una vez el molino tiene carga, es sumamente estable, sin embargo, existe periodos de tiempo donde el molino queda en vacío.

El consumo promedio del equipo da como resultado **18.67 kWh**, lo que representa un costo de **\$2.80** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.03**.



**Gráfica 1. Comportamiento de la demanda en el Molino 1.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



**Gráfica 2. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino 1.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

## Molienda gruesa

### Características

Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad real promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Molienda Gruesa	Motor eléctrico	Molino 2	50	80	375
Molienda Gruesa	Motor eléctrico	Molino 3	50	80	258

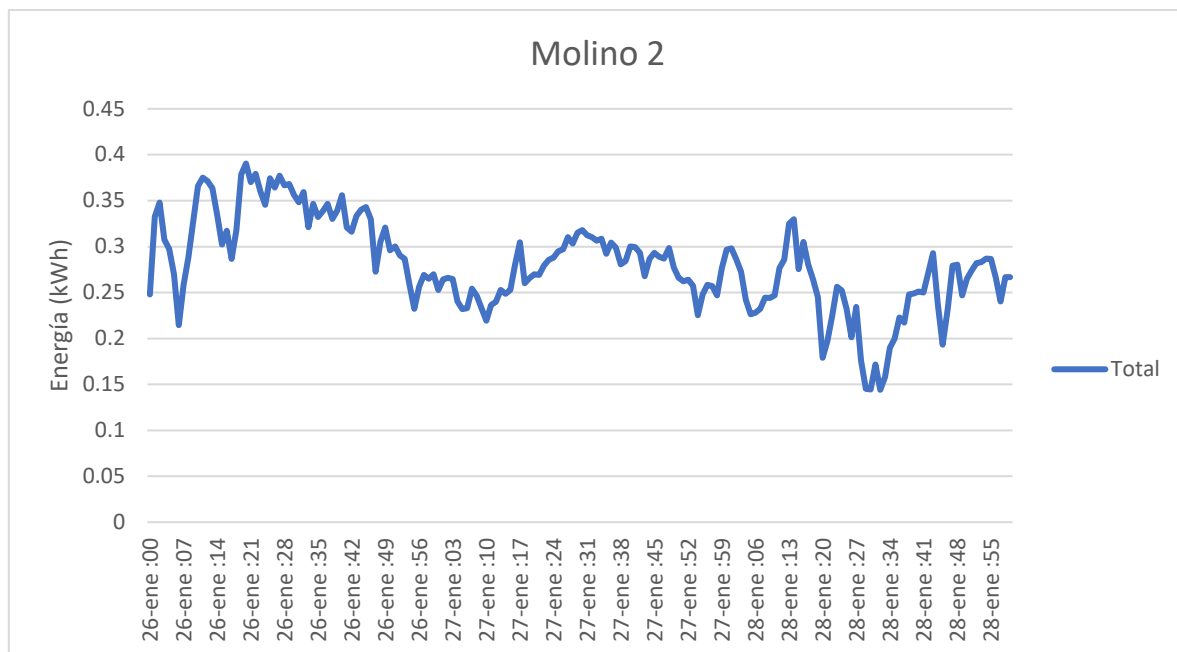
Tabla 7. Características de equipos analizados en el proceso molienda gruesa.

Fuente: Elaboración Propia.

### Molino 2

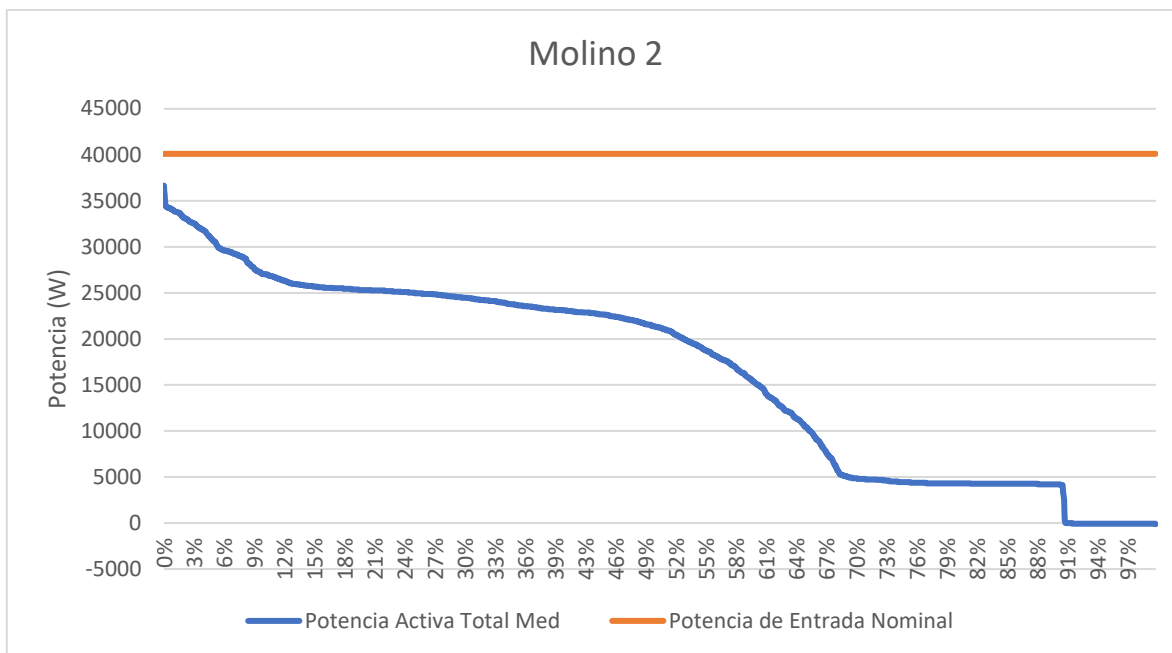
El molino 2 se encuentra destinado para el procesamiento de maíz, granillo y sémola. La siguiente gráfica muestra el comportamiento de demanda de energía que el molino presento durante un periodo de tiempo dado, con maíz. Es importante observar que el comportamiento del equipo durante el periodo de medición es fluctuante, sin embargo, es importante denotar que las oscilaciones en el gráfico se deben a la dureza del grano y el sistema de alimentación de este, así como el tipo de zaranda.

El consumo promedio del equipo da como resultado **18.43 kWh**, lo que representa un costo por hora de **\$2.77** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.03**.



Gráfica 3. Comportamiento de la demanda en el Molino 2.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

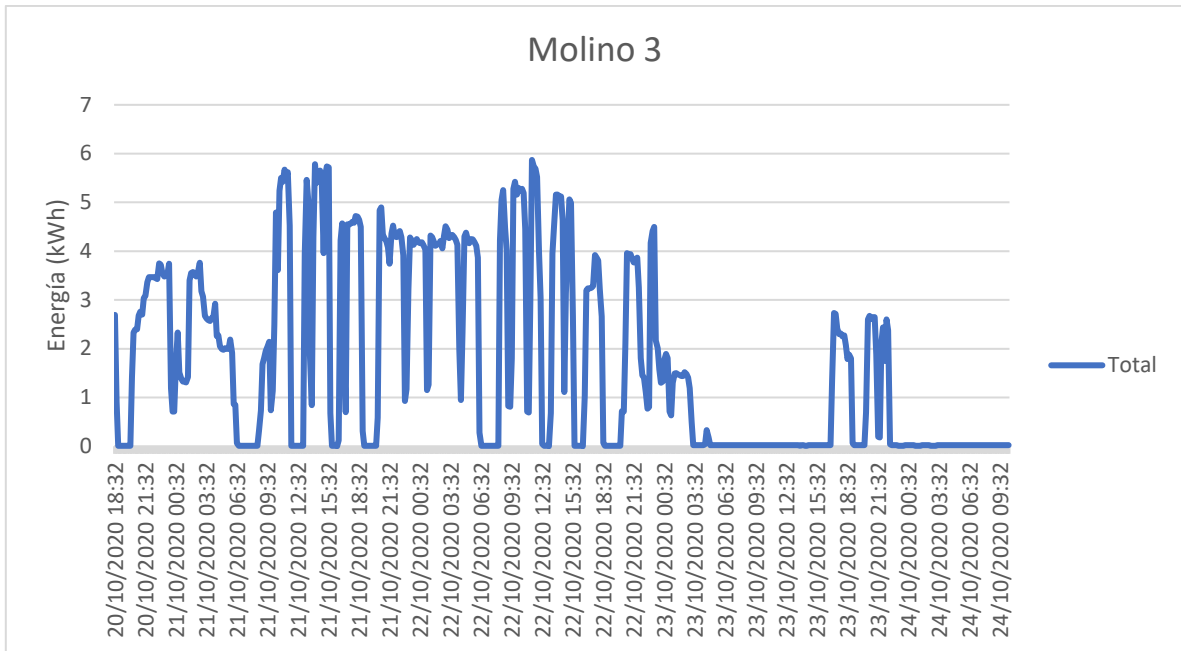


*Gráfica 4. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino 2.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*

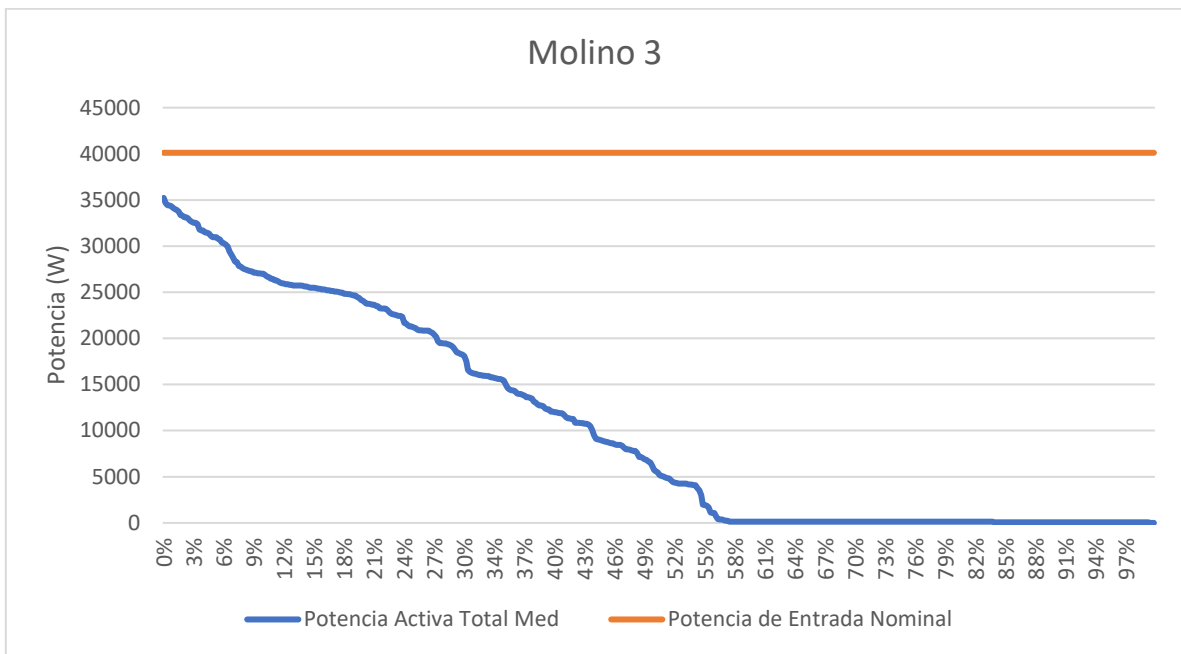
### Molino 3

El Molino 3 está destinado para la molienda de soya, por sus características es un producto que no permite una fluidez total en la tolva de alimentación. Se identifica un comportamiento errático del equipo durante el periodo analizado.

El consumo promedio del equipo da como resultado **18.48 kWh**, lo que representa un costo de **\$2.77** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.03**.



**Gráfica 5. Comportamiento de la demanda en el Molino 3.**  
*Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*



**Gráfica 6. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino 3.**  
*Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*

## Ganado harina “A”

### Características

Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad real promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Ganado Harina “A”	Motor eléctrico	Mezcladora	50	150	365

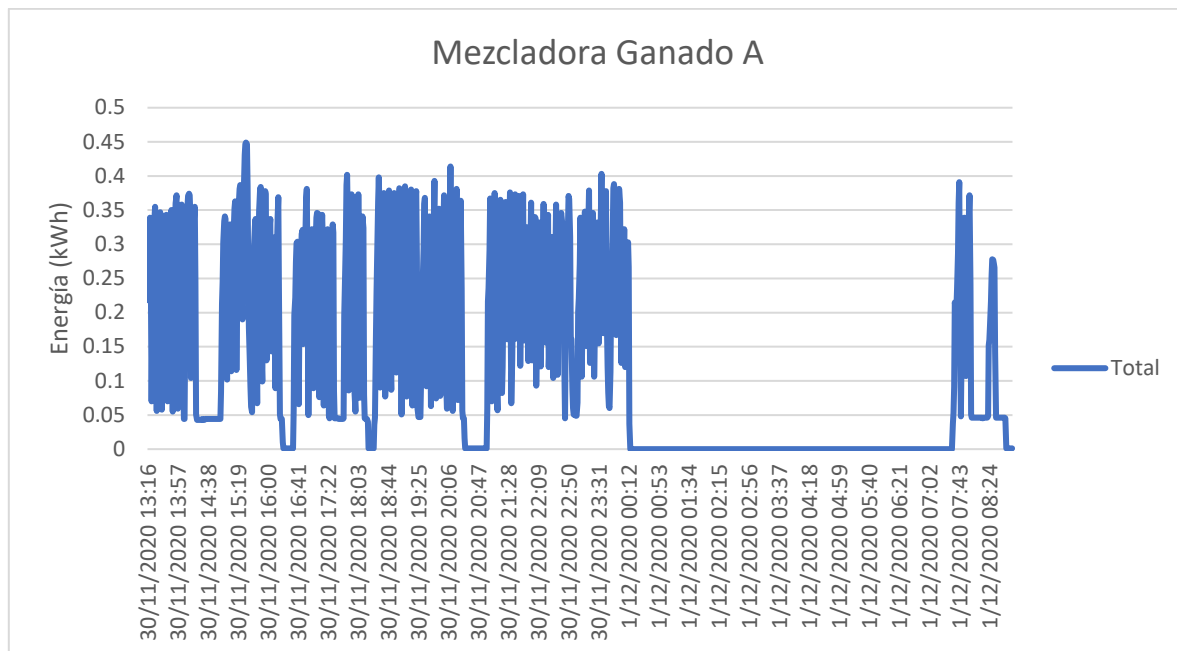
Tabla 8. Características de equipos analizados en el proceso Ganado Harina “A”.

Fuente: Elaboración Propia.

### Mezcladora.

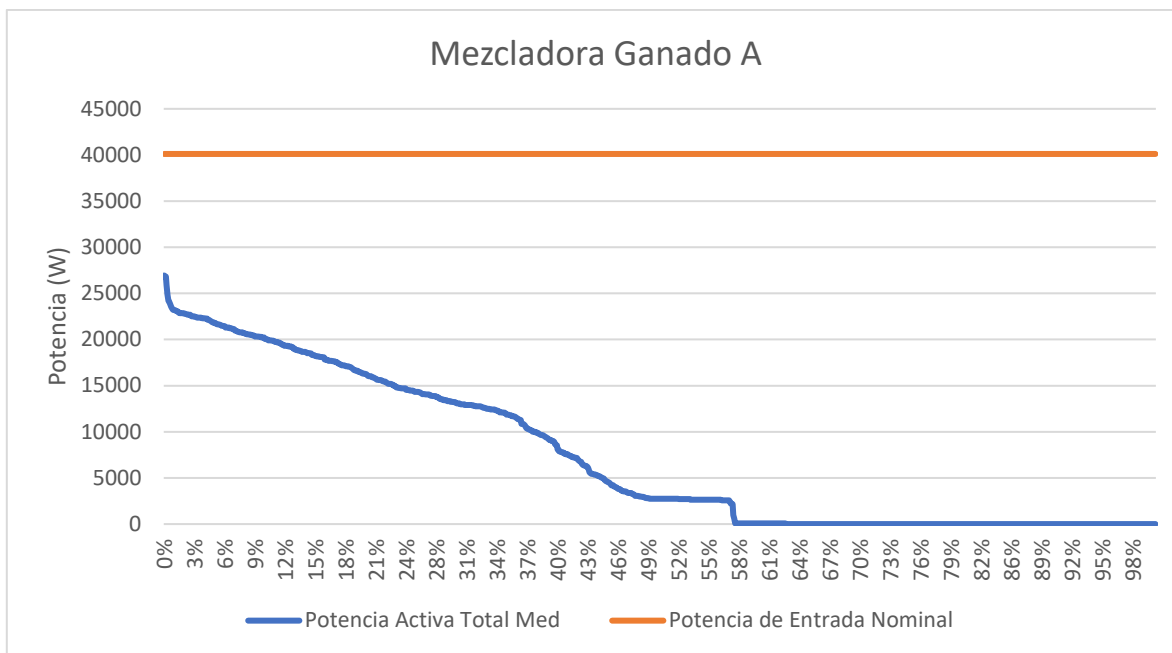
La mezcladora del proceso productivo ganado harina es el corazón de la línea, a través de ella se formulan 11 productos de alta demanda de la fábrica. La característica más representativa en función de demanda de energía es la cantidad de melaza que la dieta contenga, como se puede observar en el gráfico, su comportamiento es oscilante mientras se encuentra cargada con producto.

El consumo promedio del equipo da como resultado **12.17 kWh**, lo que representa un costo de **\$1.82** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.01**.



Gráfica 7. Comportamiento de la demanda en la Mezcladora Ganado A.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



Gráfica 8. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Mezclador Ganado A.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

## Formulación Aves

### Características

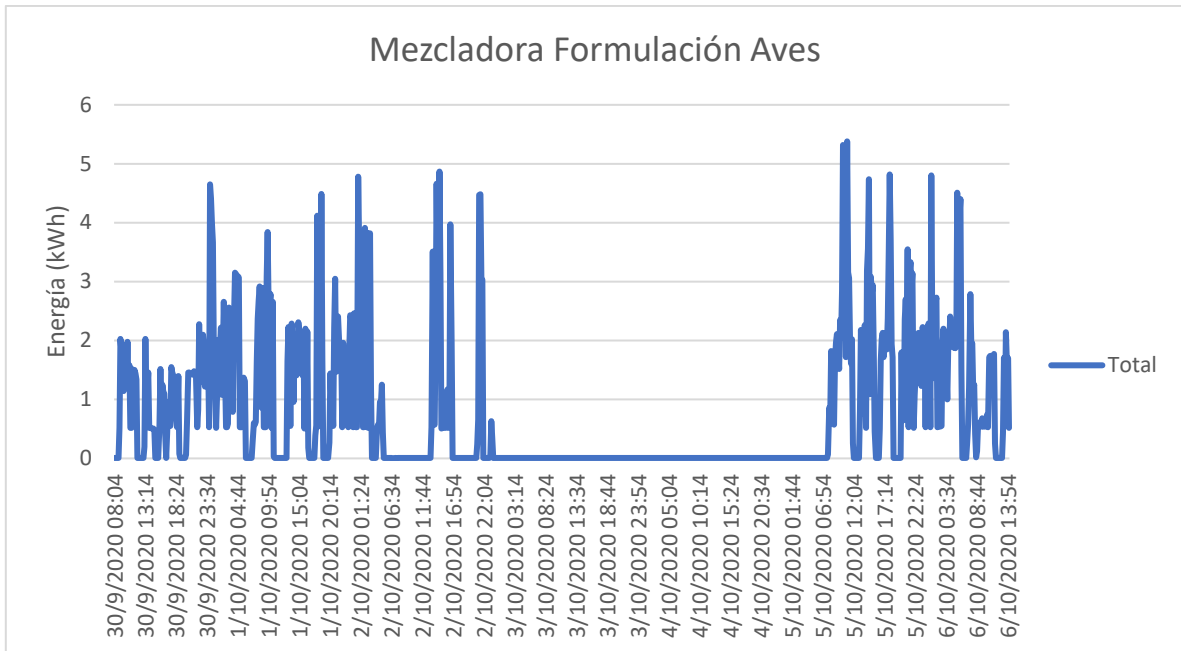
Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad real promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Formulación aves	Motor eléctrico	Mezcladora	60	270	376

Tabla 9. Características de equipos analizados en el proceso Formulación Aves.  
Fuente: Elaboración Propia.

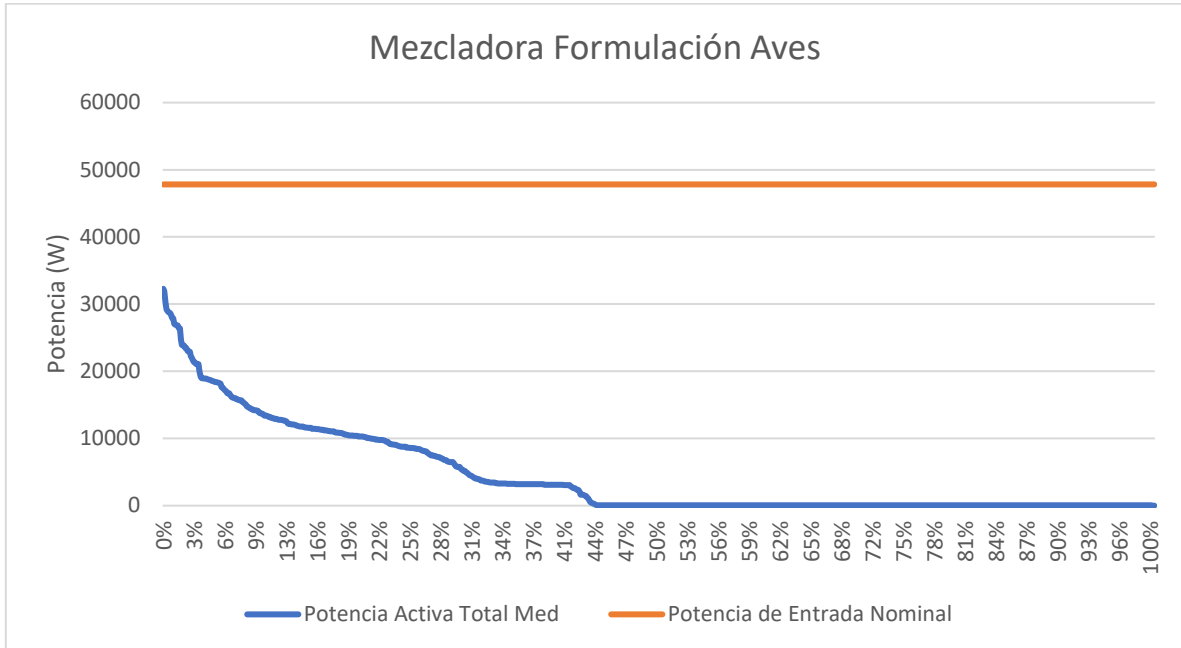
### Mezcladora.

La mezcladora del área de formulación realiza el proceso de suministro de harinas mezcladas para las áreas de peletizado, extrusado y harina aves. Debido a la amplia variedad de productos que se procesan esta mezcladora se pueden tomar distintas muestras que dan a conocer el comportamiento energético del proceso. En función del tipo de dieta se puede observar las variaciones en su demanda.

El consumo promedio del equipo da como resultado **10.2 kWh**, lo que representa un costo de **\$1.53** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.01**.



**Gráfica 9. Comportamiento de la demanda en la Mezcladora Formulación Aves.**  
*Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*



**Gráfica 10. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Mezcladora Formulación Aves.**  
*Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*

## Peletizado

### Características

Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Peletizado	Motor eléctrico	Peletizadora #1	140	75	402
Peletizado	Motor eléctrico	Peletizadora #2	120	75	410

Tabla 10. Características de equipos analizados en el proceso Peletizado.

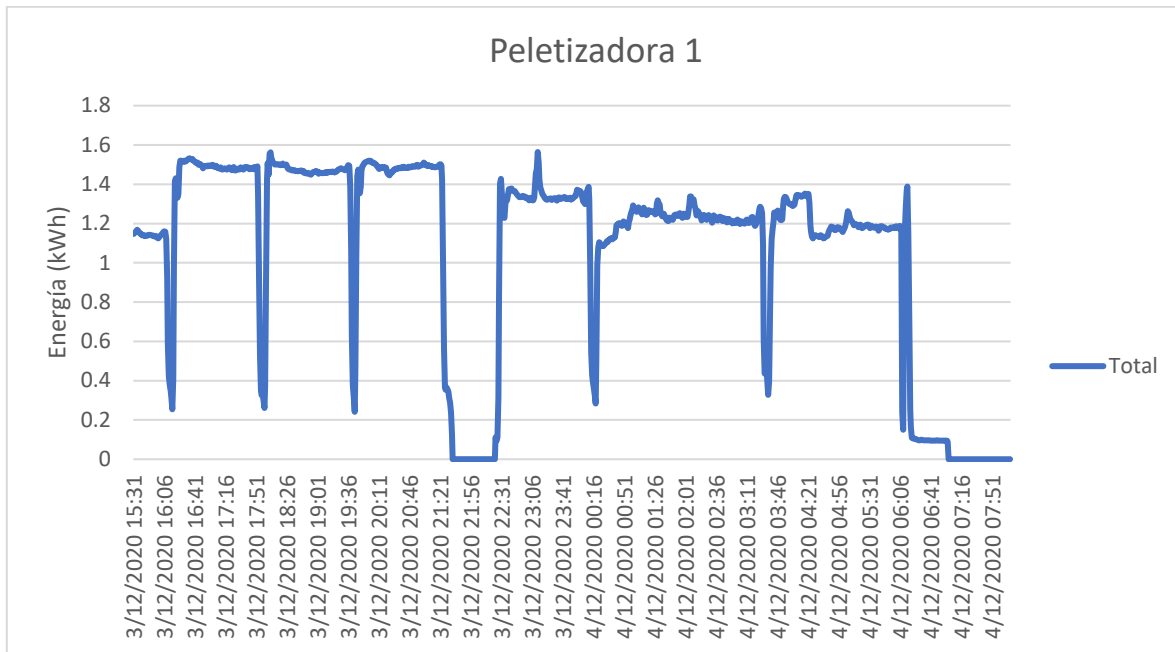
Fuente: Elaboración Propia.

Ambas máquinas peletizadoras cumplen la misma función, sin embargo, notamos diferencia en ambas máquinas respecto a su potencia.

### Peletizadora 1

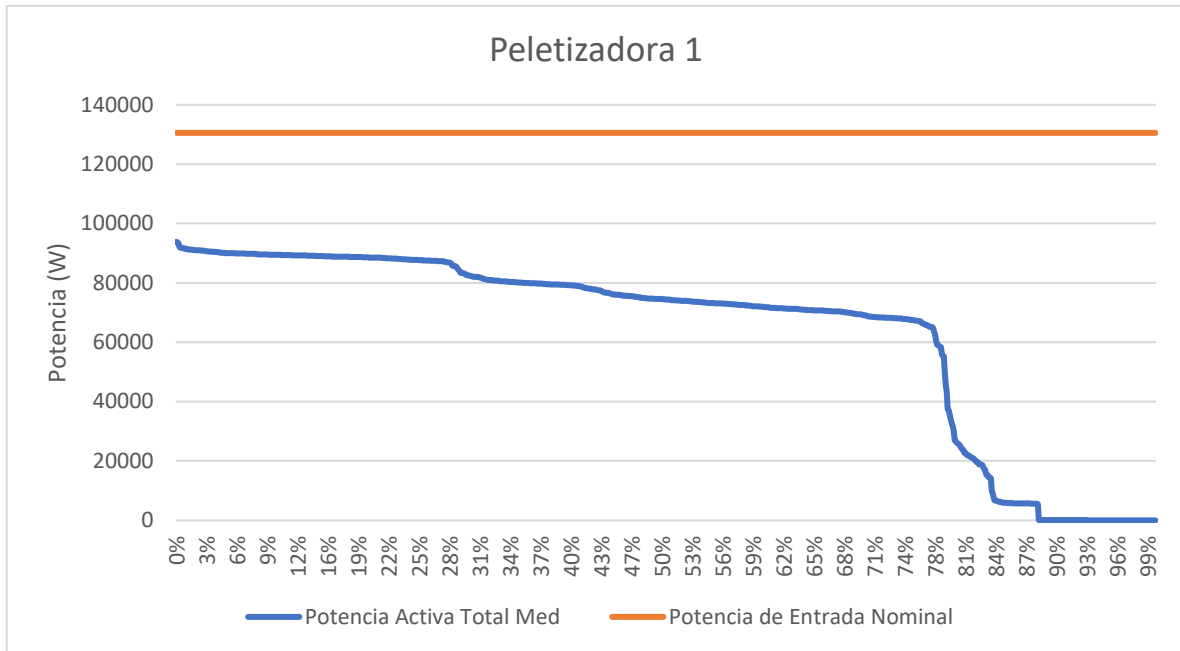
Durante el periodo analizado con la peletizadora 1 se pudo validar el comportamiento de esta máquina con uno de los productos de mayor demanda para la planta en matriz 4.0. Tal como se puede apreciar durante el análisis realizado, no se visualiza una estabilidad con la fórmula analizada.

El consumo promedio del equipo da como resultado **68.4 kWh**, lo que representa un costo de **\$10.26** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.15**.



Gráfica 11. Comportamiento de la demanda en la Peletizadora 1.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



*Gráfica 12. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Peletizadora 1.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*

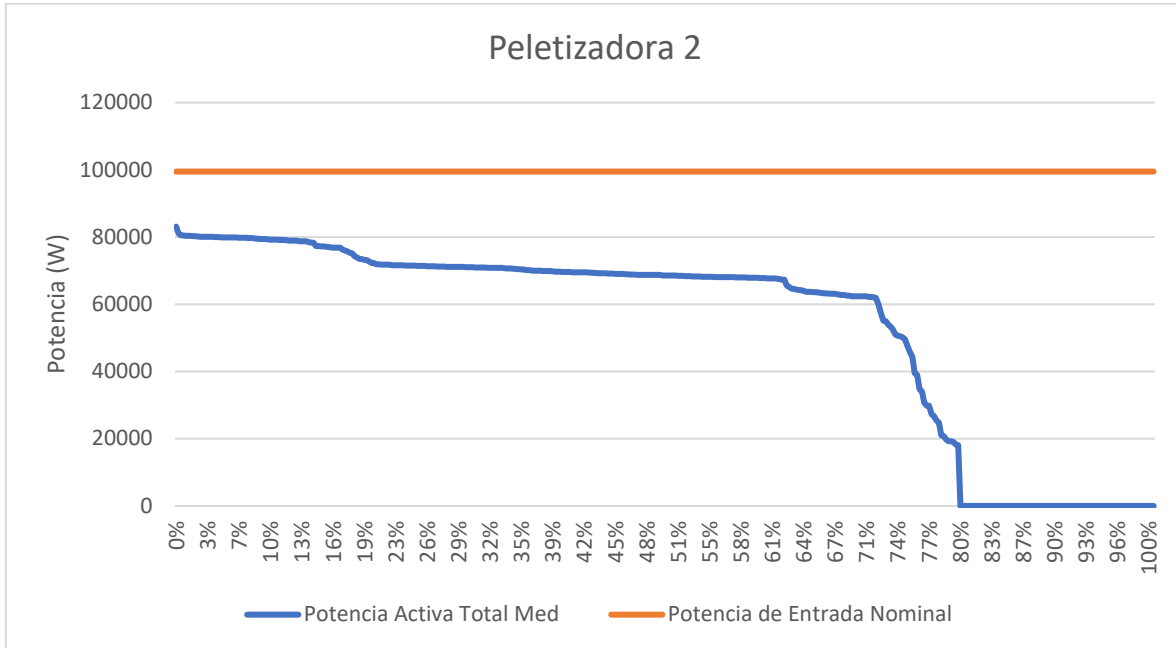
## Peletizadora 2

Durante este periodo analizado con la misma fórmula se puede visualizar una mejor estabilización con respecto a la peletizadora 1 en ciertos periodos de tiempo, y en otros puntos se puede ver la inconsistencia en la alimentación de la máquina.

El consumo promedio del equipo da como resultado **67.2 kWh**, lo que representa un costo de **\$10.08** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.14**.



**Gráfica 13. Comportamiento de la demanda en la Peletizadora 2.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



**Gráfica 14. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Peletizadora 2.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

## Pulverizado

### Características

Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Pulverizado	Motor eléctrico	Molino Pulverizador 1	100	40	142
Pulverizado	Motor eléctrico	Molino Pulverizador 2	200	60	117

*Tabla 11. Características de equipos analizados en el proceso Pulverizado.*

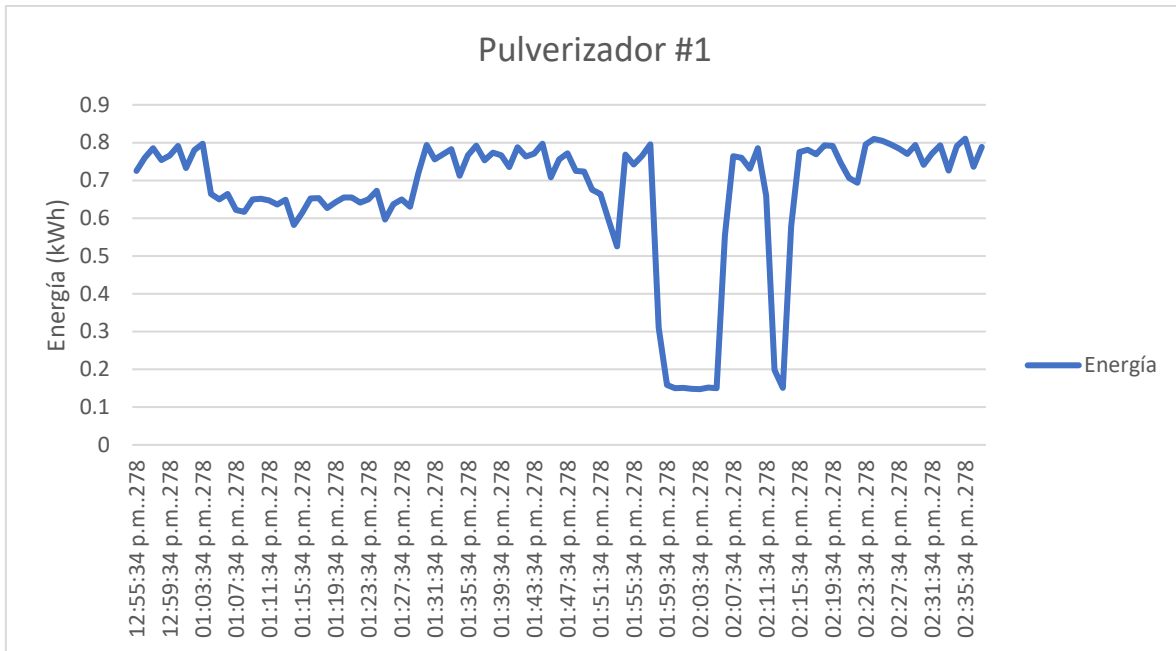
*Fuente: Elaboración Propia.*

Ambos equipos cuentan con la misma finalidad, proveer con molienda por debajo de los 1000 micrones principalmente al proceso de extrusión, sin embargo, el molino pulverizador 2 cuenta con una mayor capacidad, pero que no puede ser aprovechada al máximo en la línea de extrusión esto conlleva a no utilizar la máxima capacidad.

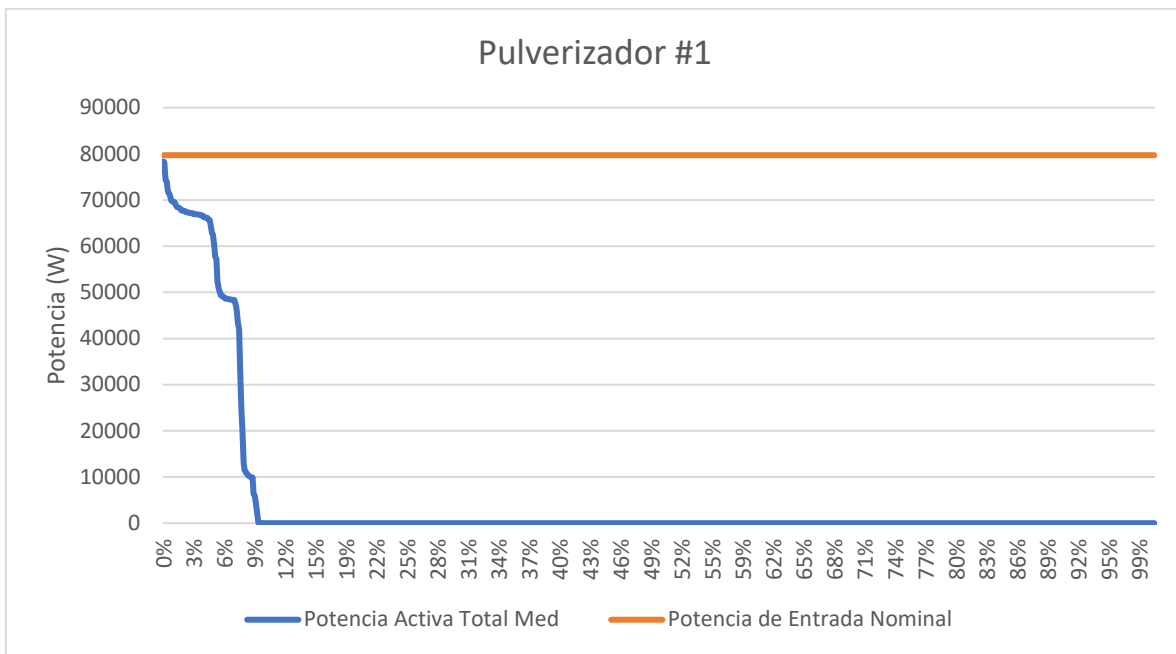
### Molino pulverizador 1

Durante el periodo analizado, se puede observar un comportamiento estable a nivel de energía demandada por parte del molino pulverizador, en algunos puntos se observa la falta de alimentación de harina quedando el molino en vacío. Este molino cuenta con un banco de capacitores, sin embargo, el motor ha sido rebobinado al menos en 2 ocasiones.

El consumo promedio del equipo da como resultado **39.9 kWh**, lo que representa un costo de **\$5.99** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.15**.



**Gráfica 15. Comportamiento de la demanda en el Pulverizador #1.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

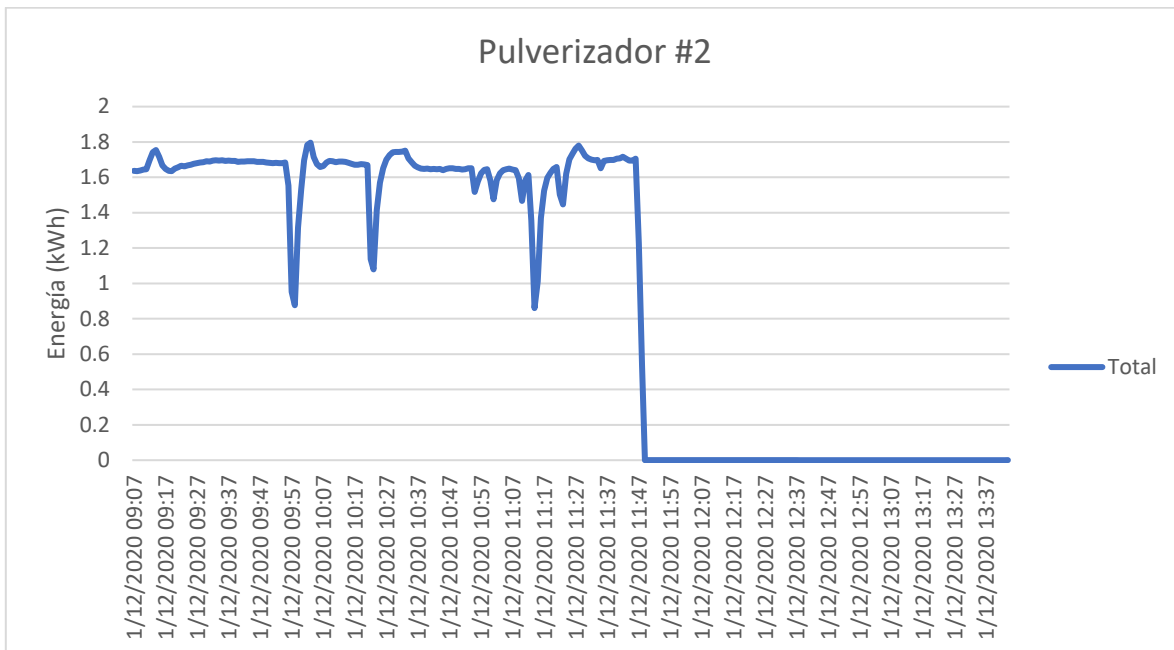


**Gráfica 16. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Pulverizador #1.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

## Molino pulverizador #2

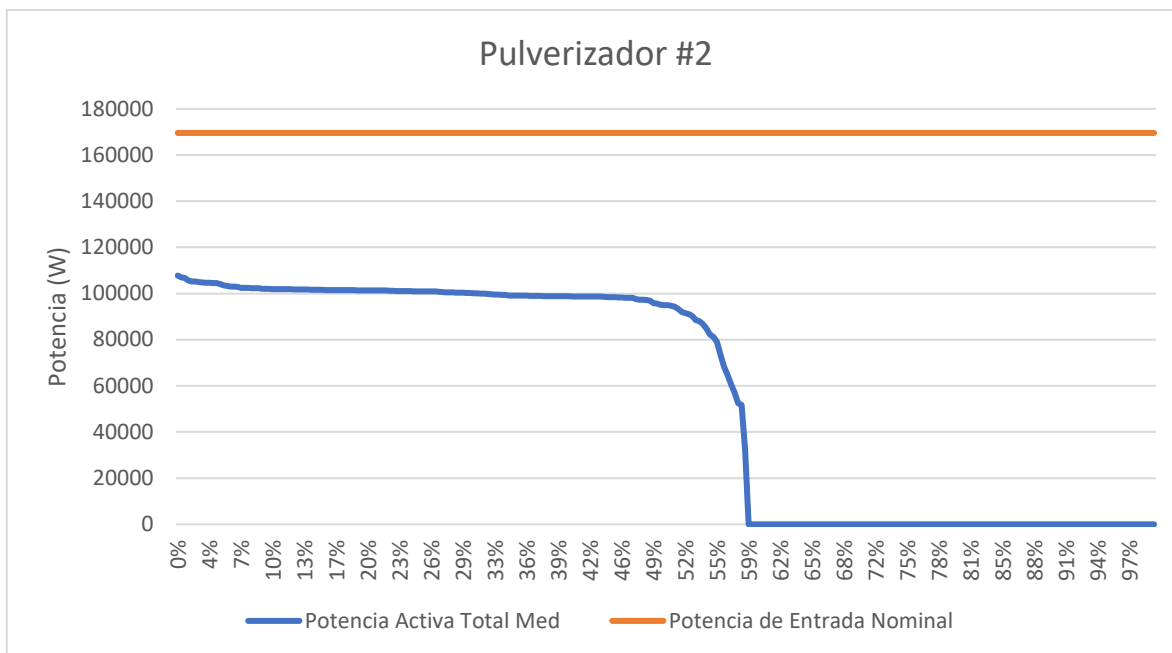
El molino vertical cumple la misma finalidad, sin embargo, genera un mejor pulverizado de la harina sin necesidad de malla. Tal como se puede observar presenta una mayor estabilidad en su comportamiento a nivel de energía demandada, salvo intervalos en los cuales pueda quedarse sin harina.

El consumo promedio del equipo da como resultado **97.2 kWh**, lo que representa un costo de **\$14.58** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.24**.



Gráfica 17. Comportamiento de la demanda en el Pulverizador #2.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



Gráfica 18. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Pulverizador #2.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

## Extrusión

### Características

Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Extrusado	Motor eléctrico	Extrusor #1	140	18	354
Extrusado	Motor eléctrico	Extrusor #2	125	18	442

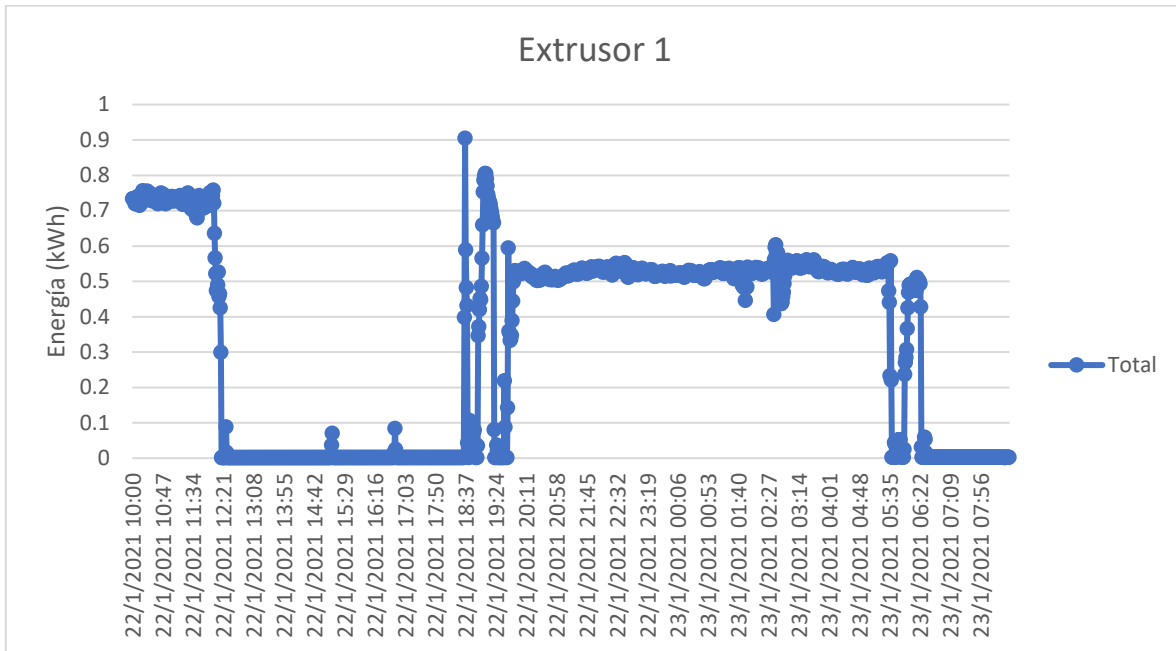
Tabla 12. Características de equipos analizados en el proceso Extrusión.  
Fuente: Elaboración Propia.

Ambas máquinas cumplen el mismo fin, y su rendimiento es exactamente igual. Se observa que ambos equipos tienen motores diferentes, los cuales también se conoce que han sido rebobinados y el extrusor #1 cuenta con un banco de capacitores. Ambas mediciones fueron tomadas con la misma fórmula de producto.

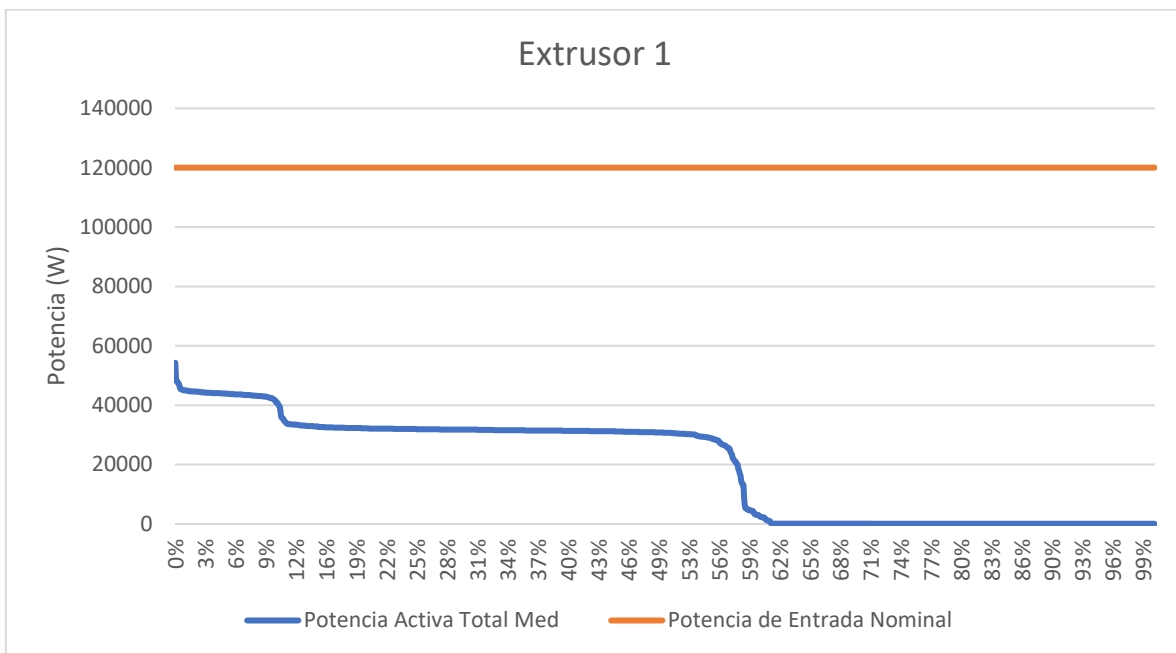
### Extrusor #1

Tal como se observa en la gráfica de energía demandada, se puede ver un comportamiento intermitente de la máquina, esto influye mucho por la alimentación de la harina, así como atoramientos en la matriz que sufre debido a materia extraña en la harina.

El consumo promedio del equipo da como resultado **22.81 kWh**, lo que representa un costo de **\$3.42** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.19**.



*Gráfica 19. Comportamiento de la demanda en el Extrusor #1.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*

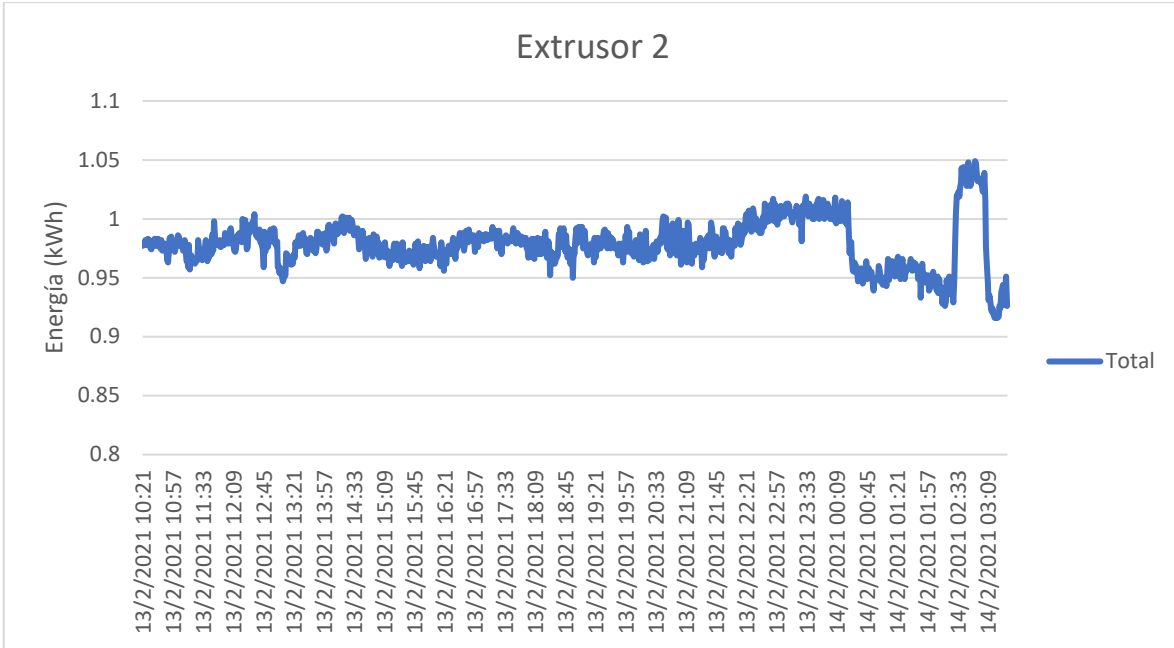


*Gráfica 20. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Extrusor #1.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*

## Extrusor #2

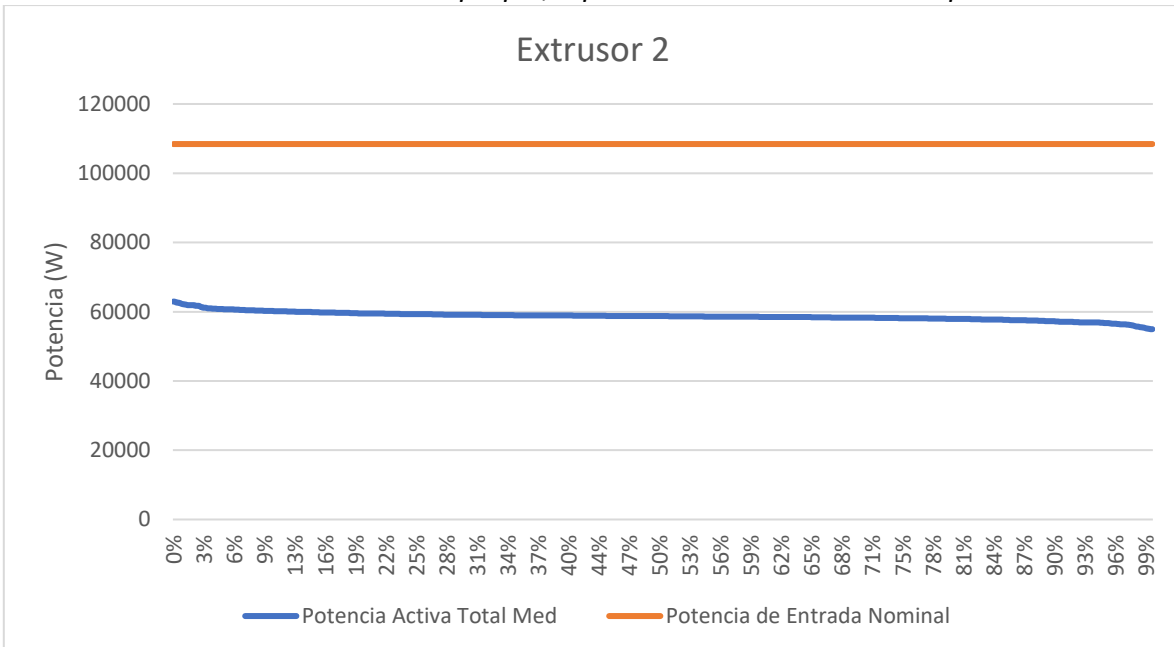
Como se observa en el gráfico del Extrusor #2 durante el periodo evaluado, el comportamiento en la demanda de energía es más constante y de manera estable.

El consumo promedio del equipo da como resultado **58.73 kWh**, lo que representa un costo de **\$8.81** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.49**.



Gráfica 21. Comportamiento de la demanda en el Extrusor #2.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



Gráfica 22. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Extrusor #2.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

## Ganado Harina B

### Características

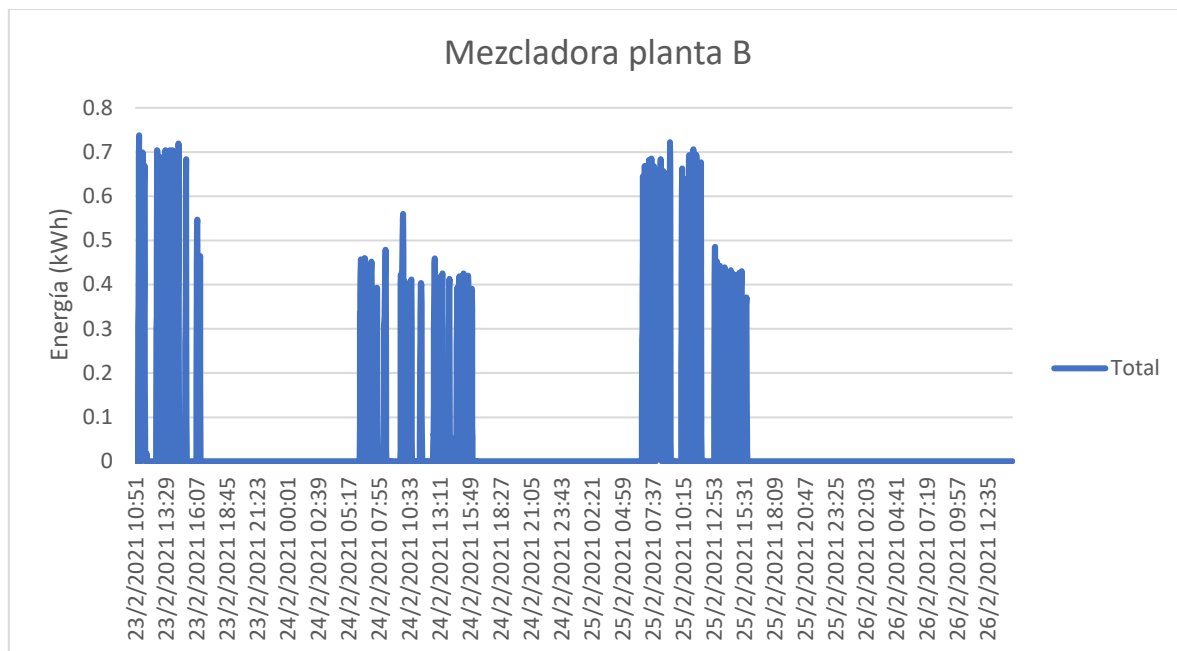
Proceso Productivo	Tipo Equipo	Denominación en Planta	Potencia (hp)	Capacidad promedio (QQ/h)	Horas efectivas promedio mensuales
Planta Ganado B	Motor eléctrico	Mezcladora	40	100	72
Planta Ganado B	Motor eléctrico	Molino	50	40	62

Tabla 13. Características de equipos analizados en el proceso PP19 – Ganado Harina B.  
Fuente: Elaboración Propia.

### Mezcladora

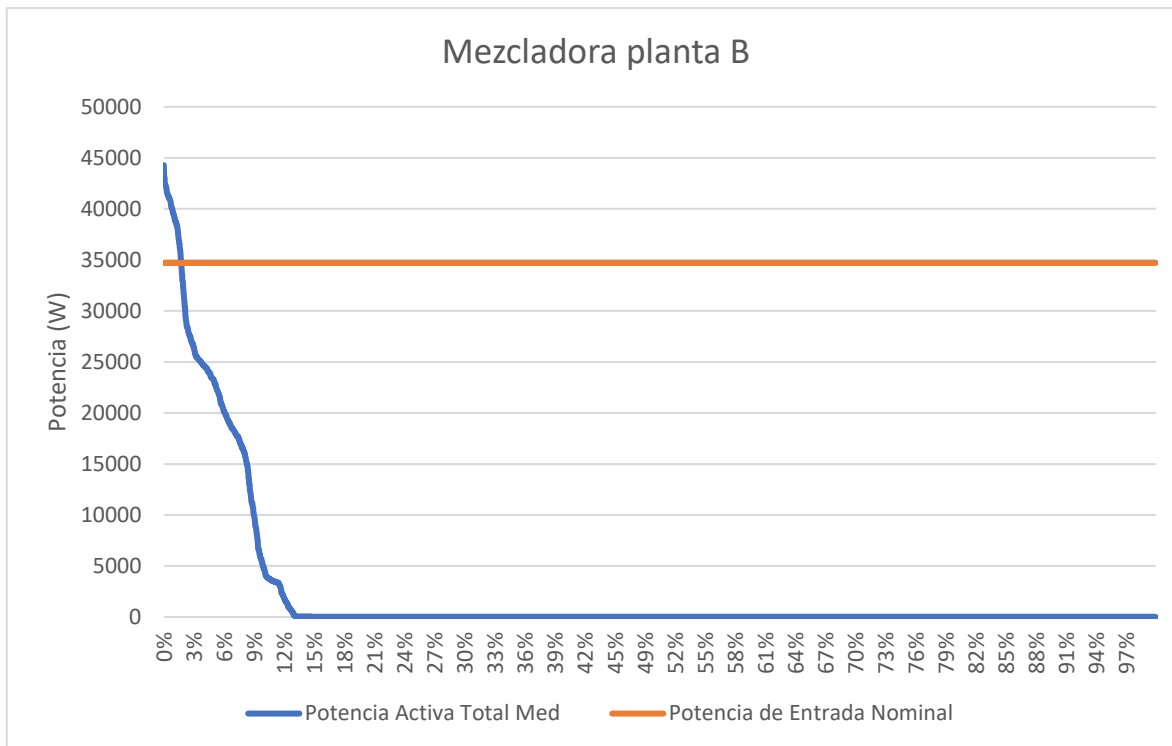
Como se observa en el gráfico de energía, debido a la naturaleza del proceso la mezcladora no es constante en su operatividad y su demanda de energía es fluctuante.

El consumo promedio del equipo da como resultado **22.2 kWh**, lo que representa un costo de **\$3.33** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.03**.



Gráfica 23. Comportamiento de la demanda en la Mezcladora de Planta B.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



*Gráfica 24. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en la Mezcladora de Planta B.*

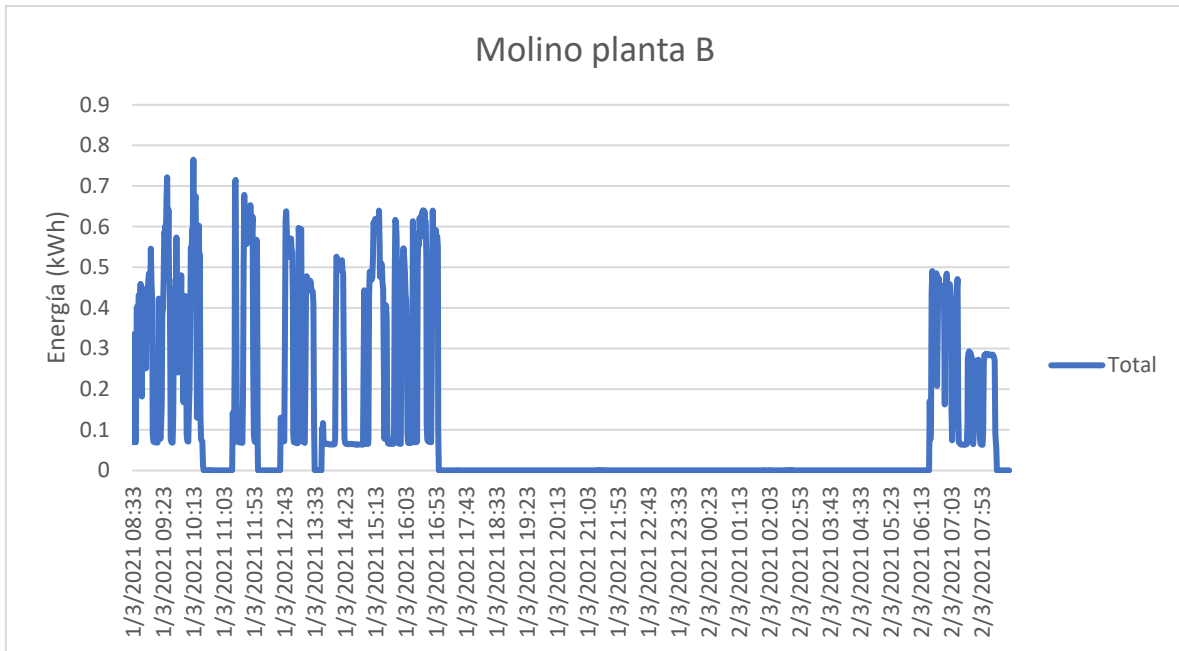
*Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.*

Es importante observar en la Gráfica 24, que en alrededor del 3% de las mediciones realizadas, la potencia demandada supera el valor nominal de la potencia de entrada, lo que se debe al arranque directo del motor en la mezcladora. Si bien, la demanda energética de este equipo no es de importancia en comparación al resto de equipos en estudio, debe considerarse la instalación de un sistema de arranque controlado, para evitar futuros daños en el sistema de alimentación y sus componentes, así como el motor mismo

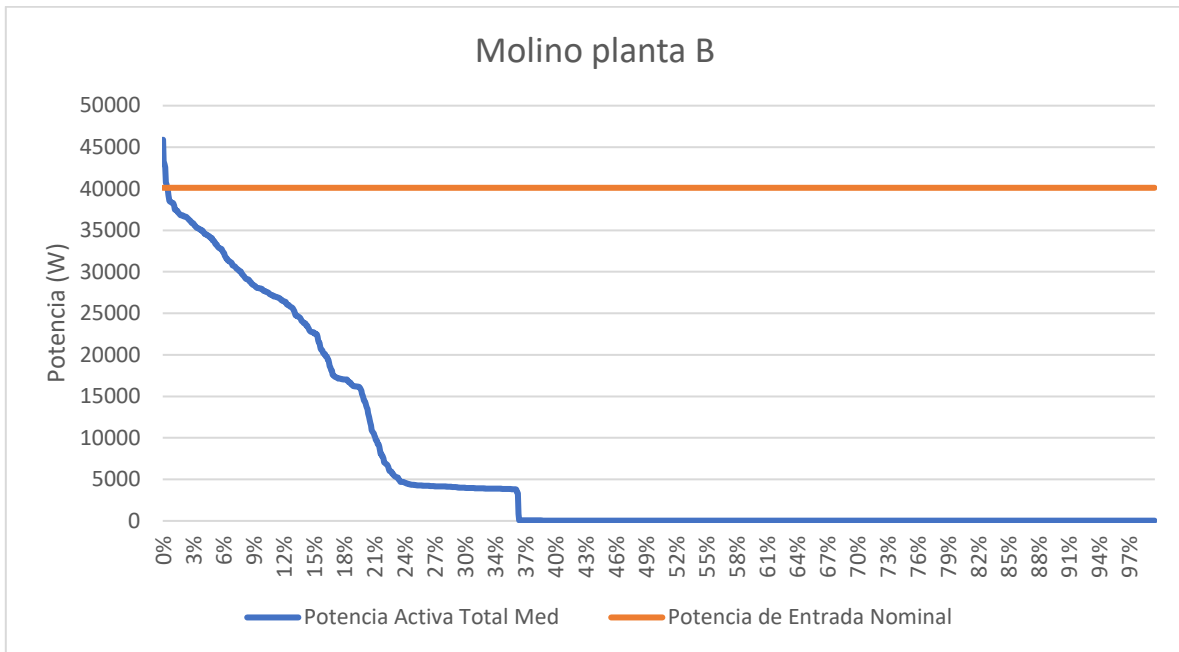
## **Molino**

El molino de planta B está dedicado exclusivamente al procesamiento de subproductos, en especial producto como golosinas y dulces, como podemos observar su demanda de energía es sumamente fluctuante.

El consumo promedio del equipo da como resultado **19.8 kWh**, lo que representa un costo de **\$2.97** equivalente en función de los quintales por hora a **\$0.07**.



**Gráfica 25. Comportamiento de la demanda en el Molino de Planta B.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.



**Gráfica 26. Comportamiento de la Curva de Carga Monótona en el Molino de Planta B.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de mediciones en campo.

Como el caso anterior, se observa en la Gráfica 26, que en menos del 3% de las mediciones realizadas, la potencia demandada supera el valor nominal de la potencia de entrada, lo que se debe al arranque directo del motor en el molino. Si bien, la demanda energética de este

equipo no es de importancia en comparación al resto de equipos en estudio, debe considerarse la instalación de un sistema de arranque controlado, para evitar futuros daños en el sistema de alimentación y sus componentes, así como el motor mismo.

En la tabla siguiente se muestra el consolidado de los factores de carga obtenidos a partir de las mediciones realizadas y las gráficas de las curvas de carga monótonas de cada uno de los equipos en estudio:

Denominación en Planta	Potencia Salida <sub>nom</sub> (hp)	$\eta^5$	Potencia Entrada <sub>nom</sub> (hp)	Potencia Entrada <sub>nom</sub> (kW)	Potencia Activa Media Medida (moda) (kW)	Cálculo de Factor de Carga
Molino 1 (Molienda Fina)	120	89.00%	134.83	100.58	93.90	0.93
Molino 2	50	93.00%	53.76	40.11	25.26	0.63
Molino 3	50	93.00%	53.76	40.11	25.74	0.64
Mezcladora (Ganado A)	50	93.00%	53.76	40.11	15.54	0.39
Mezcladora (Aves)	60	93.60%	64.10	47.82	3.18	0.07
Peletizadora #1	140	80.00%	175.00	130.55	88.80	0.68
Peletizadora #2	120	88.00%	136.36	101.73	79.86	0.79
Molino Pulverizador 1	100	93.60%	106.84	79.70	48.36	0.61
Molino Pulverizador 2	200	88.00%	227.27	169.55	101.46	0.60
Extrusor #1	140	87.00%	160.92	120.05	48.84	0.41
Extrusor #2	125	86.00%	145.35	108.43	58.74	0.54
Mezcladora (Ganado B)	40	86.00%	46.51	34.70	3.18	0.09
Molino (Ganado B)	50	93.00%	53.76	40.11	5.70	0.14

*Tabla 14. Factores de carga calculados para cada uno de los equipos en estudio.*

*Fuente: Elaboración propia.*

---

<sup>5</sup> Los valores de eficiencia en algunos casos no fueron legibles en las placas de identificación de los equipos, por lo que tuvo que tomarse a partir de registros proporcionados por el Departamento de Mantenimiento.

## XI. IDENTIFICACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA.

### Identificación.

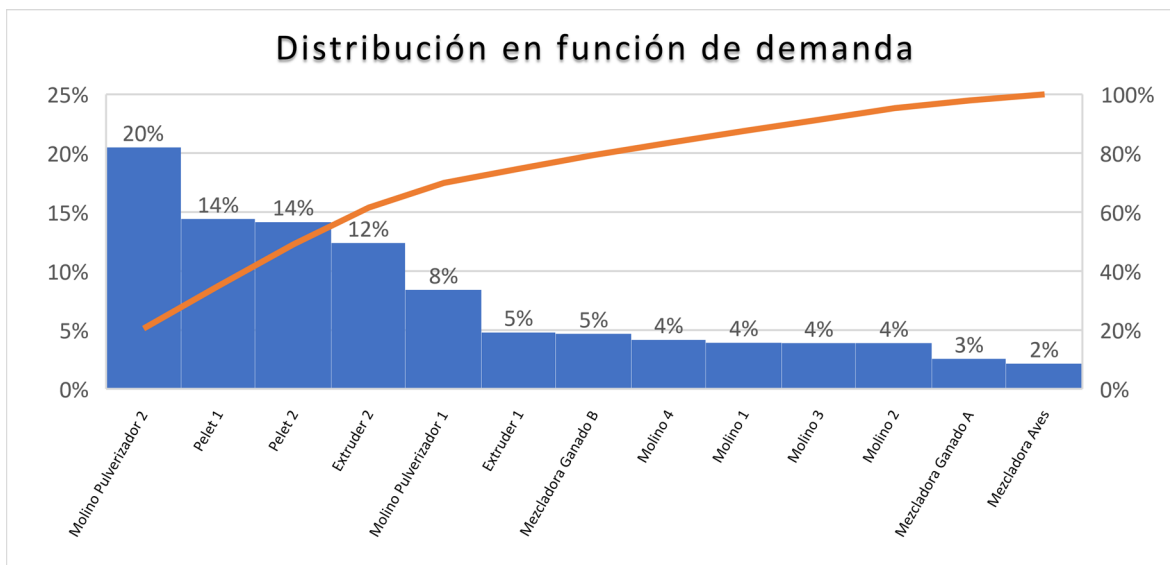
En función de los análisis realizados con los equipos principales de la planta de producción podemos representar la distribución por consumo de cada proceso productivo con base en sus horas efectivas promedios mensuales de utilización y realizar una estimación del costo mensual de cada uno de ellos.

Proceso Productivo	Denominación en Planta	Horas efectivas promedio mensuales	kWh	kWh mensuales	Costo
Molienda Fina	Molino 1	279	18.67	5208.93	\$ 781.34
Molienda Gruesa	Molino 2	375	18.43	6903.47	\$ 1,035.52
Molienda Gruesa	Molino 3	258	18.48	4773.68	\$ 716.05
Ganado Harina "A"	Mezcladora	365	12.17	4444.53	\$ 666.68
Formulación aves	Mezcladora	376	10.20	3835.06	\$ 575.26
Peletizado	Peletizadora #1	402	68.4	27496.80	\$ 4,124.52
Peletizado	Peletizadora #2	410	67.2	27552.00	\$ 4,132.80
Pulverizado mascotas/pellet	Molino Pulverizador 1	142	39.90	5665.80	\$ 849.87
Pulverizado mascotas/pellet	Molino Pulverizador 2	117	97.20	11372.40	\$ 1,705.86
Extrusado	Extrusor #1	354	22.81	8074.74	\$ 1,211.21
Extrusado	Extrusor #2	442	58.73	25958.66	\$ 3,893.80
Planta Ganado B	Mezcladora	72	22.20	1601.55	\$ 240.23
Planta Ganado B	Molino	62	19.80	1229.45	\$ 184.42
TOTAL		3654	474.00	134117.06	\$ 20,117.56

*Tabla 15. Detalle de costo por consumo energético promedio de los equipos en estudio.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Gráficamente podemos observar la distribución porcentual por cada uno de los equipos en función de su demanda de energía.



Gráfica 27. Distribución porcentual de los equipos en estudio de acuerdo a su consumo energético promedio medido.

Fuente: Elaboración propia.

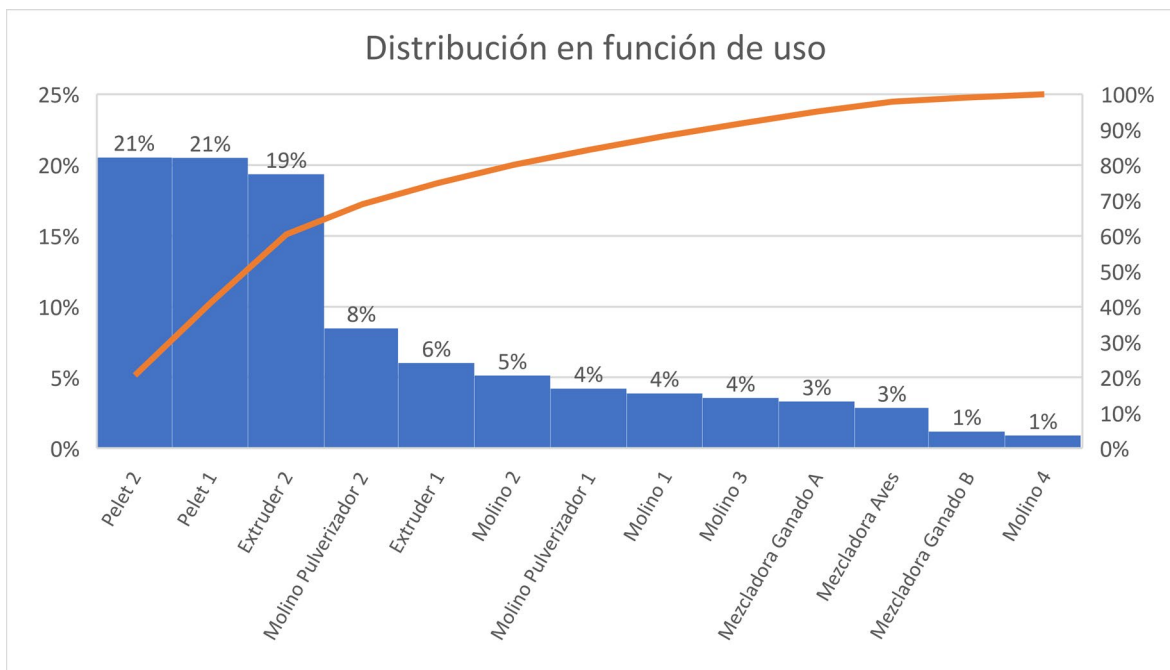
Sin embargo, al realizar un análisis de distribución en función de la utilización mensual promedio obtenemos como resultado la siguiente distribución energética por equipo, donde podemos enfocarnos en el 80%, que corresponde a los equipos:

Equipo	Representación porcentual por consumo energético mensual
Peletizadora #1	21%
Peletizadora #2	21%
Extrusor #2	19%
Molino Pulverizador #2	8%
Extrusor #1	6%
Molino #2	5%
<b>Total</b>	<b>80%</b>

Tabla 16. Representación porcentual hasta el 80% de consumo energético mensual de los equipos en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Gráficamente el total de equipos en estudio se representan en el siguiente gráfico de Pareto:



Gráfica 28. Gráfico de Pareto con base a el consumo energético mensual de los equipos en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Con referencia en la Tabla 2 donde se plasma la energía facturada se obtiene en promedio un total de 219162.42 kWh, por lo que los equipos principales evaluados representarían el 61% del consumo energético mensual de Balanceados S.A. de C.V.

### Propuestas de mejora y recomendaciones.

Tomando en consideración el análisis realizado en el apartado anterior, las propuestas de mejora y recomendaciones irán enfocadas a los equipos que representan el 80% de consumo energético del total de equipos en estudio, ver Tabla 15.

Así también, las propuestas de mejora y recomendaciones se clasificarán en tres categorías, relacionadas entre sí, que son:

1. Propuestas de mejora y recomendaciones para la eficiencia energética.
2. Propuestas de mejora y recomendaciones para la mantenibilidad.
3. Propuestas de mejora y recomendaciones para el control de la gestión.

### Propuestas de mejora y recomendaciones para la eficiencia energética.

1. En el caso del proceso de peletizado se identificó que ambos motores han sido rebobinados según los registros de mantenimiento. En función de las mediciones realizadas se determinan recomendaciones que pueden generar resultados financieros positivos, éstas son:

- **Sustitución de motor para Peletizadora #1.**

<b>Datos de Entrada</b>	
Potencia de salida (hp)	140
Eficiencia (%)	80
Potencia de entrada (hp)	175
Factor de Carga (%)	68
Tiempo de uso en el año (horas)	4824
Costo de energía (US\$/kWh)	0.15
Cargo de distribución (US\$/kW-mes)	6.79

*Tabla 17. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en la Peletizadora#1.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Con la información anteriormente descrita y haciendo uso de la herramienta “Motor Master+ International”, se calculó, de manera aproximada, el potencial ahorro de energía por la sustitución del motor, así como se determinó el período de recuperación de la inversión. Se parte de las siguientes consideraciones:

- El motor propuesto es de una potencia menor al que actualmente está en uso.
- El costo por el motor nuevo propuesto se toma a partir de la base de datos de la herramienta, el cual es de US\$ 14,833.00. Se ha considerado un costo de instalación de US\$ 1,750.00, considerando cualquier modificación que sea necesario hacer en la bancada de trabajo del equipo.

Motor Savings Analysis

Scenario: Replace Existing | Savings | Best Available | Print | Help | Close

---

**Motor Characteristics**

Existing Motor		Premium-Efficiency Motor	
Description:	Old Standard Efficiency	NEMA Premium	
Size (HP) / Speed (RPM) (Poles):	140 / 1800 (4)	125 / 1800 (4)	
Enclosure / Voltage (Volts):	TEFC / 460	TEFC / 460	
Load (%):	68.0	76.2	
Efficiency (%):	80	95.5	
Full load RPM:	0	0	
Old Motor Efficiency Loss (%):	0.0		

Centrifugal load

Select Motor | Lifecycle

---

**Savings**

Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Energy Savings
Differential cost (\$):	16,583	Energy (kWh/yr): 100,095
Energy use (kWh/yr): 458,835	358,740	Demand (kW): 20.7
Energy cost (\$/yr): 68,825	53,811	Energy savings (\$/yr): 15,014
Demand charge (\$/yr): 7,750	6,059	Demand savings (\$/yr): 1,691

**Greenhouse Gas Emissions Reduction**

State: <none> tonnes CO2/yr: 0.0

**Total savings (\$/yr): 16,705**  
**Simple payback (yrs): 0.99**

---

**Motor Characteristics**

Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Utility Data
Dealer discount (%):	0.0	Energy price (\$/kWh): 0.15
Purchase price (\$):	14,833	Demand charge (\$/kW/mo.): 6.79 kW
Installation cost (\$):	1750	Power factor (%): 1.0
Motor rebate (\$):	0	Rebate program: <None>
Peak months:	12	Simple payback criteria, yrs: 10
Hours use/yr:	4824	

Ilustración 18. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Peletizadora #1.

Fuente: Herramienta Motor Master+ International.

De los resultados mostrados en la simulación de la herramienta, los datos de mayor relevancia son:

<b>Datos de Salida</b>	
Potencia de motor propuesto (hp)	125
Eficiencia (%)	95.5
Estándar de Eficiencia	NEMA Premium
Factor de Carga (%)	76.2
Ahorro en consumo energético (kWh/año)	100,095
Ahorro en demanda de potencia (kW/año)	248.4
Ahorro en costo por consumo energético (US\$/año)	15,014.00
Ahorro en costo por demanda (US\$/año)	1,691.00
Ahorro Total (US\$/año)	16,705.00
Monto estimado necesario para inversión (US\$)	16,583.00
Retorno de inversión (años)	0.99

*Tabla 18. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en la Peletizadora #1.*

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Sustitución de motor para Peletizadora #2.**

<b>Datos de Entrada</b>	
Potencia de salida (hp)	120
Eficiencia (%)	88
Potencia de entrada (hp)	136.36
Factor de Carga (%)	79
Tiempo de uso en el año (horas)	4920
Costo de energía (US\$/kWh)	0.15
Cargo de distribución (US\$/kW-mes)	6.79

*Tabla 19. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en la Peletizadora #2.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Con la información anteriormente descrita y haciendo uso de la herramienta "Motor Master+ International", se calculó, de manera aproximada, el potencial ahorro de energía por la sustitución del motor, así como se determinó el período de recuperación de la inversión. Se parte de las siguientes consideraciones:

- El motor propuesto es de una potencia mayor al que actualmente está en uso, partiendo que la base de datos de la herramienta no cuenta con un motor de capacidad similar al actual.

- El costo por el motor nuevo propuesto se toma a partir de la base de datos de la herramienta, el cual es de US\$ 14,833.00. Se ha considerado un costo de instalación de US\$ 1,750.00, considerando cualquier modificación que sea necesario hacer en la bancada de trabajo del equipo.

The screenshot displays the 'Motor Savings Analysis' software interface. It is divided into several sections:

- Scenario:** Replace Existing
- Motor Characteristics:**
  - Existing Motor:** Description: Old Standard Efficiency; Size (HP) / Speed (RPM) (Poles): 120 / 1800 (4); Enclosure / Voltage (Volts): TEFC / 460; Load (%): 79.0; Efficiency (%): 88; Full load RPM: 0; Old Motor Efficiency Loss (%): 0.0.
  - Premium-Efficiency Motor:** NEMA Premium; Size (HP) / Speed (RPM) (Poles): 125 / 1800 (4); Enclosure / Voltage (Volts): TEFC / 460; Efficiency (%): 95.5.
- Savings:**
  - Existing Motor:** Differential cost (\$): 16,583; Energy use (kWh/yr): 411,868; Energy cost (\$/yr): 61,780; Demand charge (\$/yr): 6,821.
  - Premium-Efficiency Motor:** Differential cost (\$): 16,583; Energy use (kWh/yr): 364,342; Energy cost (\$/yr): 54,651; Demand charge (\$/yr): 6,034.
  - Energy Savings:** Energy (kWh/yr): 47,527; Demand (kW): 9.7; Energy savings (\$/yr): 7,129; Demand savings (\$/yr): 787.
  - Greenhouse Gas Emissions Reduction:** State: <none>; tonnes CO2/yr: 0.0.
  - Total savings (\$/yr):** 7,916
  - Simple payback (yrs):** 2.09
- Costs/Use:**
  - Existing Motor:** Dealer discount (%): 0.0; Purchase price (\$): 14,833; Installation cost (\$): 1,750; Motor rebate (\$): 0; Peak months: 12; Hours use/yr: 4920.
  - Premium-Efficiency Motor:** Dealer discount (%): 0.0; Purchase price (\$): 14,833; Installation cost (\$): 1,750; Motor rebate (\$): 0; Peak months: 12; Hours use/yr: 4920.
  - Utility Data:** Energy price (\$/kWh): 0.15; Demand charge (\$/kW/mo.): 6.79 (kW selected); Power factor (%): 1.0; Rebate program: <None>; Simple payback criteria, yrs: 10.

Ilustración 19. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Peletizadora #2.

Fuente: Herramienta Motor Master+ International.

De los resultados mostrados en la simulación de la herramienta, los datos de mayor relevancia son:

Datos de Salida	
Potencia de motor propuesto (hp)	125
Eficiencia (%)	95.5
Estándar de Eficiencia	NEMA Premium
Factor de Carga (%)	79
Ahorro en consumo energético (kWh/año)	47,527
Ahorro en demanda de potencia (kW/año)	116.4
Ahorro en costo por consumo energético (US\$/año)	7,129.00
Ahorro en costo por demanda (US\$/año)	787.00
Ahorro Total (US\$/año)	7,916.00
Monto estimado necesario para inversión (US\$)	16,583.00
Retorno de inversión (años)	2.09

Tabla 20. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en la Peletizadora #2.

Fuente: Elaboración propia.

- En el proceso de extrusado se ha identificado una situación que se recomienda abordar a la brevedad posible, puesto que ambas máquinas realizan el mismo trabajo, sin embargo, hay una utilización y demanda de energía mayor del extrusor #2 con respecto al extrusor #1. En función de los estudios realizados se visualizan los siguientes puntos:

- **Sustitución de motor para Extrusor #2.**

Datos de Entrada	
Potencia de salida (hp)	125
Eficiencia (%)	86
Potencia de entrada (hp)	145.35
Factor de Carga (%)	54
Tiempo de uso en el año (horas)	5304
Costo de energía (US\$/kWh)	0.15
Cargo de distribución (US\$/kW-mes)	6.79

Tabla 21. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en el Extrusor #2.

Fuente: Elaboración propia.

Con la información anteriormente descrita y haciendo uso de la herramienta "Motor Master+ International", se calculó, de manera aproximada, el potencial ahorro de energía por la sustitución del motor, así como se determinó el período de recuperación de la inversión. Se parte de las siguientes consideraciones:

- El motor propuesto es de una potencia menor al que actualmente está en uso, debido a que el factor de carga es casi la mitad de la capacidad actual.
- El costo por el motor nuevo propuesto se toma a partir de la base de datos de la herramienta, el cual es de US\$ 11,884.00. Se ha considerado un costo de instalación de US\$ 1,750.00, considerando cualquier modificación que sea necesario hacer en la bancada de trabajo del equipo.

The screenshot displays the 'Motor Savings Analysis' software interface. It is divided into several sections:

- Scenario:** Replace Existing
- Motor Characteristics:**
  - Existing Motor:** Description: Old Standard Efficiency; Size (HP) / Speed (RPM) (Poles): 125 / 1800 (4); Enclosure / Voltage (Volts): TEFC / 460; Load (%): 54.0; Efficiency (%): 86; Full load RPM: 0; Old Motor Efficiency Loss (%): 0.0.
  - Premium-Efficiency Motor:** NEMA Premium; Size (HP) / Speed (RPM) (Poles): 100 / 1800 (4); Enclosure / Voltage (Volts): TEFC / 460; Load (%): 67.5; Efficiency (%): 95.0; Full load RPM: 0.
- Savings:**
  - Existing Motor:** Differential cost (\$): 13,634; Energy use (kWh/yr): 310,562; Energy cost (\$/yr): 46,584; Demand charge (\$/yr): 4,771.
  - Premium-Efficiency Motor:** Differential cost (\$): 13,634; Energy use (kWh/yr): 281,140; Energy cost (\$/yr): 42,171; Demand charge (\$/yr): 4,319.
  - Energy Savings:** Energy (kWh/yr): 29,422; Demand (kW): 5.5; Energy savings (\$/yr): 4,413; Demand savings (\$/yr): 452.
- Greenhouse Gas Emissions Reduction:** State: <none>; tonnes CO2/yr: 0.0
- Total savings (\$/yr):** 4,865
- Simple payback (yrs):** 2.80
- Motor Characteristics (Bottom Section):**
  - Existing Motor:** Dealer discount (%): ; Purchase price (\$): ; Installation cost (\$): ; Motor rebate (\$): 0; Peak months: 12; Hours use/yr: 5304.
  - Premium-Efficiency Motor:** Dealer discount (%): 0; Purchase price (\$): 11,884; Installation cost (\$): 1750; Motor rebate (\$): 0; Peak months: 12; Hours use/yr: 5304.
- Costs/Use (Bottom Section):**
  - Utility Data:** Energy price (\$/kWh): 0.15; Demand charge (\$/kW/mo.): 6.79 (kW selected); Power factor (%): 1.0; Rebate program: <None>; Simple payback criteria, yrs: 10.

Ilustración 20. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Extrusor #2.

Fuente: Herramienta Motor Master+ International.

De los resultados mostrados en la simulación de la herramienta, los datos de mayor relevancia son:

<b>Datos de Salida</b>	
Potencia de motor propuesto (hp)	100
Eficiencia (%)	95.0
Estándar de Eficiencia	NEMA Premium
Factor de Carga (%)	67.5
Ahorro en consumo energético (kWh/año)	29,422
Ahorro en demanda de potencia (kW/año)	66
Ahorro en costo por consumo energético (US\$/año)	4,413.00
Ahorro en costo por demanda (US\$/año)	452.00
Ahorro Total (US\$/año)	4,865.00
Monto estimado necesario para inversión (US\$)	13,634.00
Retorno de inversión (años)	2.80

*Tabla 22. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en el Extrusor #2.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Considerando que el consumo energético del Extrusor #2 ocupa el tercer lugar en demanda, se vuelve prioritario el cambio de dicho motor, tomando en consideración el cambio de potencia propuesto, debido a que el factor de carga está muy por debajo a un estándar promedio (75%).

Además, es de hacer notar, que durante las inspecciones realizadas al sistema de producción que compone el Extrusor #2, se identificó que el motor de éste operaba de manera directa, es decir, sin tener un arranque controlado al inicio de la operación. Con base en ello se recomienda la instalación de un arrancador estrella-delta, con el objetivo de reducir la corriente de arranque, y a largo plazo reducir los efectos que ocasionen una mayor atención a la mantenibilidad del equipo. El costo estimado por el suministro e instalación de un arrancador estrella-delta de la capacidad necesaria para el motor propuesto es de US\$3,130.75.

Con base a lo anterior, el monto de inversión y el tiempo de retorno quedan de la siguiente manera:

<b>Inversión y tiempo de retorno – Extrusor #2</b>	
Ahorro Total (US\$/año)	4,865.00
Monto estimado necesario para inversión (US\$)	16,764.75
Retorno de inversión (años)	3.45

Tabla 23. Resumen de inversión y tiempo de recuperación por cambio de motor en Extrusor #2, incluyendo la instalación de un arrancador estrella-delta.

Fuente: Elaboración propia.

También se recomienda instalación de imanes efectivos en la entrada de las máquinas que eviten los atoramientos por partículas ferrosas que generan paros productivos, tal como se pudo validar en el extrusor #1 durante el periodo de medición.

3. Siguiendo con el orden de los equipos detallados en la Tabla 16, el Molino Pulverizador #2, presenta un comportamiento de operación bastante adecuado. Sin embargo, lo que sobresale en éste es su baja eficiencia en comparación a motores similares en el mercado. Sin embargo, luego de su análisis para considerar la sustitución de éste por uno de mayor eficiencia, según la herramienta “Motor Master+ International”, el tiempo de retorno de la inversión es de 9.75 años, lo cual deja de ser atractivo para los intereses a corto plazo de la compañía. El principal factor que afecta el tiempo de recuperación de la inversión es el tiempo de utilización del motor en el mes, que se ha promediado en 117 horas, lo que equivaldría a 1404 horas al año, apenas un 16% del disponible en el año.
4. Con un consumo menor, pero siendo parte de los equipos principales indicados en la Tabla 16, está el Extrusor #1:

- **Sustitución de motor para Extrusora #1.**

<b>Datos de Entrada</b>	
Potencia de salida (hp)	140
Eficiencia (%)	87
Potencia de entrada (hp)	160.92
Factor de Carga (%)	41
Tiempo de uso en el año (horas)	4248
Costo de energía (US\$/kWh)	0.15
Cargo de distribución (US\$/kW-mes)	6.79

Tabla 24. Valores de entrada para el cálculo de ahorro energético por cambio de motor eléctrico en la Extrusor #1.

Fuente: Elaboración propia.

Con la información anteriormente descrita y haciendo uso de la herramienta “Motor Master+ International”, se calculó, de manera aproximada, el potencial ahorro de energía por la sustitución del motor, así como se determinó el período de recuperación de la inversión. Se parte de las siguientes consideraciones:

- El motor propuesto es de una potencia menor al que actualmente está en uso, debido a que el factor de carga es muy por debajo de la mitad de la capacidad actual.
- El costo por el motor nuevo propuesto se toma a partir de la base de datos de la herramienta, el cual es de US\$ 11,884.00. Se ha considerado un costo de instalación de US\$ 1,750.00, considerando cualquier modificación que sea necesario hacer en la bancada de trabajo del equipo.

Motor Savings Analysis

Scenario: Replace Existing | Savings | Best Available | Print | Help | Close

---

**Motor Characteristics**

Existing Motor		Premium-Efficiency Motor	
Description:	Old Standard Efficiency	NEMA Premium	
Size (HP) / Speed (RPM) (Poles):	140 / 1800 (4)	100 / 1800 (4)	
Enclosure / Voltage (Volts):	TEFC / 460	TEFC / 460	
Load (%):	41.0	57.4	
Efficiency (%):	87	94.6	Select Motor
Full load RPM:	0	0	Lifecycle
Old Motor Efficiency Loss (%):	0.0		

---

**Savings**

Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Energy Savings
Differential cost (\$):	13,634	Energy (kWh/yr): 31,732
Energy use (kWh/yr): 224,016	192,284	Demand (kW): 7.5
Energy cost (\$/yr): 33,602	28,843	Energy savings (\$/yr): 4,760
Demand charge (\$/yr): 4,297	3,688	Demand savings (\$/yr): 609

---

**Greenhouse Gas Emissions Reduction**

State: <none> | tonnes CO2/yr: 0.0

**Total savings (\$/yr): 5,368**  
**Simple payback (yrs): 2.53**

---

**Motor Characteristics**

Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Utility Data
Dealer discount (%):	0.0	Energy price (\$/kWh): 0.15
Purchase price (\$):	11,884	Demand charge (\$/kW/mo.): 6.79 kW
Installation cost (\$):	1,750	Power factor (%): 1.0
Motor rebate (\$):	0	Rebate program: <None>
Peak months: 12	12	Simple payback criteria, yrs: 10
Hours use/yr: 4248	4248	

Ilustración 21. Recorte de pantalla de la herramienta Motor Master+ International, datos de entrada y salida para Extrusor #1.

Fuente: Herramienta Motor Master+ International.

De los resultados mostrados en la simulación de la herramienta, los datos de mayor relevancia son:

<b>Datos de Salida</b>	
Potencia de motor propuesto (hp)	100
Eficiencia (%)	94.6
Estándar de Eficiencia	NEMA Premium
Factor de Carga (%)	57.4
Ahorro en consumo energético (kWh/año)	31,732
Ahorro en demanda de potencia (kW/año)	90
Ahorro en costo por consumo energético (US\$/año)	4,760.00
Ahorro en costo por demanda (US\$/año)	609.00
Ahorro Total (US\$/año)	5,369.00
Monto estimado necesario para inversión (US\$)	13,634.00
Retorno de inversión (años)	2.54

*Tabla 25. Resultados del análisis de ahorro energético a través de la herramienta "Motor Master+ International" para el cambio de motor en el Extrusor #1.*

*Fuente: Elaboración propia.*

5. La molienda es uno de los procesos iniciales de transformación de materia prima más importante dentro de la industria de alimentos balanceados. Dentro de esta categoría, el equipo que se encuentra dentro de los que representan el uso significativo enmarcados en la Tabla 16, es el Molino #2 (Proceso Productivo: Molienda Gruesa). Recomendaciones para lograr un ahorro energético, basándose en las características eléctricas del equipo, no existen, ya que es un motor cuya eficiencia y factor de carga son: 93% y 63% respectivamente, que son valores bastante aceptables, tomando en consideración los casos vistos con anterioridad; qué además, la recuperación de la inversión por cambiar a un motor con un par de puntos porcentuales más en su eficiencia fácilmente puede superar los 10 años. Sin embargo, se realizan las siguientes recomendaciones, que beneficiaran la eficiencia del proceso:

- Se observa en las gráficas del molino #3, que la alimentación hacia éste no es constante, por lo que hace que el trabajo del molino sea fluctuante. Se recomienda realizar una revisión al sistema de alimentación del molino, puesto que por la naturaleza de la materia prima (soya) tiende a compactarse e interrumpir el flujo constante
- Realizar una revisión del estado de los martillos, realizando reparaciones y/o revestimientos para cubrir el desgaste considerable que presentan, ya que el rendimiento de qq/h disminuye al mismo tiempo que el costo energía se mantiene.



*Ilustración 22. Estado actual de los martillos, se puede observar deformación en los extremos.*

*Fuente: Imágenes tomadas durante visitas de inspección.*

Previo a la implementación de las oportunidades de mejora, planteadas en esta sección referente a la eficiencia energética, es recomendable realizar una evaluación del sistema de puesta a tierra que existe en toda la planta. Un buen sistema de puesta a tierra ayuda a proteger los equipos y dispositivos de la instalación contra sobretensiones transitorios, y por su puesto como protección diferencial contra contactos indirectos, para salvaguardar la integridad de las personas.

Además, es de revisar, con la data resultante de las mediciones realizadas, los valores de distorsión armónica que están presente en la instalación, y evaluar si estos están dentro de los límites establecidos, que no generen efectos secundarios adversos a la instalación. Y si fuese así, implementar algún tipo de medida correctiva.

## Propuestas de mejora y recomendaciones para la mantenibilidad.

### 6. Plan de mantenimiento centrado en condición para mejora en la eficiencia energética.

Con el objetivo de contribuir al buen desempeño de los equipos en estudio, y con esto garantizar un consumo energético de acorde a lo establecido por la demanda de producción, se recomienda la implementación de técnicas de mantenimiento basadas en la condición, esto sumado a las actividades que actualmente se ejecutan, y que son:

Tarea	Actividad	Frecuencia
Revisión	Realizar inspección de temperatura de motor, ruidos extraños, revisar conexiones eléctricas y medir parámetros	Mensual
Limpieza	Realizar limpieza preventiva externa del motor	Semanal
Lubricación	Realizar lubricación de rodamientos y eje, revisar si los rodamientos no presentan desgaste.	Semestral
Revisión	Realizar revisión de sellos para ver si presentan desgaste o fugas	Semestral
Revisión	Realizar revisión de las bandas internas, cambiar si presentan desgaste	Semestral

*Tabla 26. Listado de actividades de mantenimiento preventivo aplicada a los equipos.  
Fuente: Elaboración Propia, a partir del plan de mantenimiento preventivo proporcionado por Balanceados S.A. de C.V.*

Partiendo de que los equipos en estudio, si bien son los principales, éstos son parte de un sistema más complejo, por lo que vale la pena reforzar la clasificación de criticidad de las diferentes máquinas y dispositivos que conforman dicho sistema. Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que nos ayudan a determinar el nivel de importancia de cada uno de los activos de una instalación, para poder así orientar los recursos (humano, económico y tecnológico) de una manera efectiva y eficaz. Estos análisis nos ayudan a determinar las consecuencias que pudieran darse por las potenciales fallas que pudiesen ocurrir en el sistema, dentro de su contexto operacional.

### **Mantenimiento Predictivo.**

El mantenimiento predictivo o basado en la condición evalúa el estado de los equipos y recomienda intervenir o no, lo cual se traduce en significativos ahorros.

La mayoría de los modos de fallo en los equipos industriales tienen una evolución lenta. Desde sus etapas incipientes, los fallos en desarrollo emiten mensajes en forma de vibración, ultrasonidos, etc. Estos son descifrados mediante la aplicación de técnicas predictivas, logrando así determinar el estado de los activos críticos y encontrar el momento óptimo para su reparación.

Desde una perspectiva técnica, una actividad de mantenimiento será considerada como predictiva, siempre y cuando se cumpla con ciertas condiciones:

- La medida o técnica sea no intrusiva, es decir, que se ejecute con el equipo en condiciones normales de operación.
- El resultado de la medida puede expresarse en unidades físicas, o también con índices adimensionales correlacionados.
- La variable que se esté midiendo ofrezca una buena repetibilidad.
- La variable predictiva pueda ser analizada y/o parametrizada para que represente algún modo típico de fallo del equipo y/o elemento, es decir, ofrezca una capacidad de diagnóstico.

Dentro de las principales técnicas de mantenimiento predictivo, que se puede aplicar a los equipos en estudio, y considerando el artículo *“Tecnologías aplicables”*<sup>6</sup> tenemos:

- Análisis de vibraciones.
- Termografía.
- Medición de la resistencia de aislamiento eléctrico.

### **Análisis de vibraciones.**

La razón de la “popularidad” de esta técnica la encontramos en la posibilidad de determinar una gran cantidad de defectos. La vibración es uno de los indicativos más claros del estado de una máquina. Bajos niveles de vibración indican que el equipo se encuentra en buen estado, y cuando estos niveles se elevan significa que algo comienza a estar mal. El análisis espectral de vibraciones consiste básicamente en realizar una transformación de una señal en el tiempo al dominio de la frecuencia, donde se identifica la vibración característica de cada uno de los componentes o defectos que pueden presentarse en los equipos en estudio. Algunos de los problemas que se pueden detectar fácilmente con un análisis de vibraciones son: desequilibrio, desalineación, holguras, aflojamientos, problemas de lubricación en cojinetes, daños en rodamientos, en engranajes, etc.

---

<sup>6</sup> Tecnologías aplicables, por Alfonso Fernández de Power-MI

## **Termografía.**

La termografía infrarroja se puede definir como una técnica que permite, a través de la radiación infrarroja que emiten los objetos, la medida superficial de su temperatura. En definitiva, la principal ventaja de la medida de temperatura mediante la termografía es que es una técnica de medida sin contacto, por lo que no afecta en modo alguno el funcionamiento de los equipos durante la producción. Con esta técnica, para los equipos en estudio, podemos detectar puntos calientes, tanto en ellos como en equipos e instalaciones asociadas, es decir, dispositivos de regulación o protección (variadores, arrancadores, interruptores o fusibles) y cableados eléctricos.

## **Medición de la resistencia de aislamiento eléctrico.**

El aislamiento eléctrico está diseñado para soportar variaciones durante su vida útil, pero debemos tener presente que éste se degrada con el tiempo y las variaciones anormales pueden acelerar este proceso natural, acortando su vida. Es por lo anterior que es importante realizar pruebas frecuentemente para detectar un envejecimiento acelerado, su causa y las acciones para corregir la situación.

La degradación del aislamiento eléctrico se puede asociar a las siguientes causas, las cuales pueden interactuar entre sí, que son: variaciones eléctricas (por sobrevoltaje o bajo voltaje, que pueden ocasionar agrietamiento en éste), mecánicas (daños por golpe, paradas y arranques frecuentes, vibraciones, etc.), contaminación química (vapores corrosivos, suciedad o aceite), variaciones térmicas (condiciones donde se excede de calor o frío) y por supuesto la contaminación ambiental (humedad, plagas, etc.). Las pruebas de diagnóstico del aislamiento eléctrico en el programa de mantenimiento predictivo son fundamentales para predecir y prevenir daños en equipos eléctricos.

Tarea	Actividad	Frecuencia
Termografía	Realizar paneo de motor con cámara termográfica. Verificar temperatura en rodamiento posterior, área de rotor, rodamiento lado acople a transmisión y acople con carga.	Mensual
Vibraciones	Realizar medición de vibraciones en el motor, que incluya puntos en lado libre motor (vertical y horizontal) y lado transmisión (vertical, horizontal y axial)	Mensual
Resistencia de aislamiento eléctrico	Realizar medición de la resistencia de aislamiento eléctrico de los devanados del motor y del cableado de alimentación eléctrica del mismo.	Bimensual

Tabla 27. Listado de actividades de mantenimiento predictivo recomendadas a aplicar a los equipos en estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

Como evidencia y seguimiento a las actividades de mantenimiento predictivo (termografía, vibraciones y resistencia de aislamiento eléctrico), además de los registros correspondientes en los planes de mantenimiento, así como las ordenes de trabajo, deberá registrarse los datos medidos y elaborar un cuadro de tendencias, para verificar el comportamiento de las variables en el transcurso del tiempo, para poder intervenir con previsión, si fuese necesario, y evitar así daños mayores en los equipos.

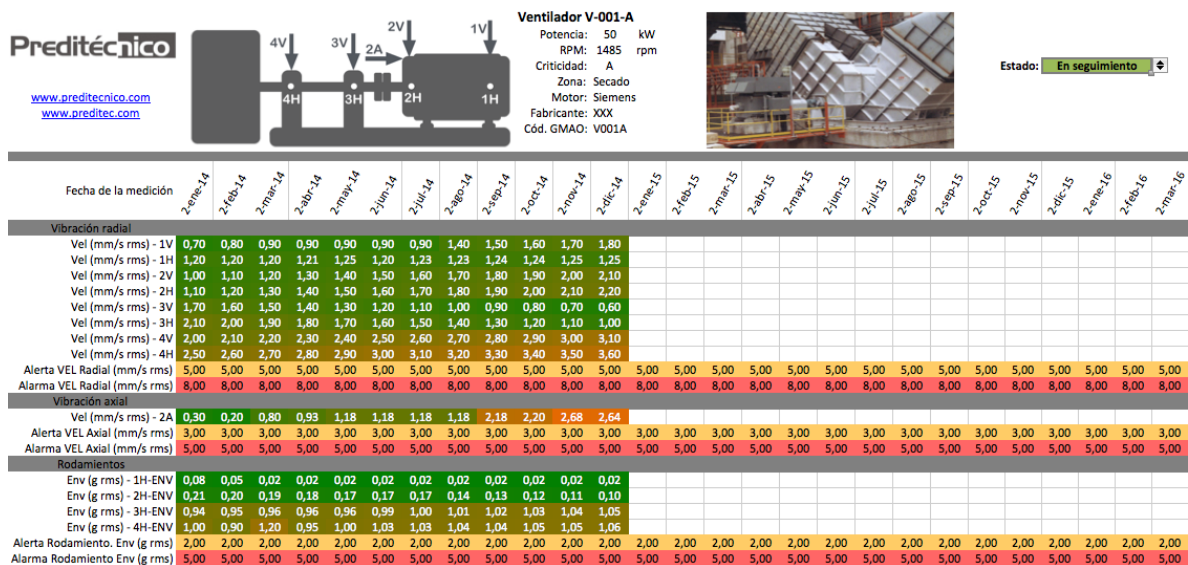


Ilustración 23. Ejemplo de cuadro de registro y tendencia de medición de vibraciones.

Fuente: <http://www.preditecnico.com/>

## Propuestas de mejora y recomendaciones para el control de la gestión.

7. Se recomienda implementar el indicador **Control de Consumo Energético Productivo (CCEP)** para cada uno de los procesos productivos, que permitirá tener el conocimiento del consumo en función de la productividad de cada una de las líneas.

$$CCEP = \frac{\text{Energía medida promedio por hora}}{\text{Quintales producidos x Hora}} = \frac{kWh}{qq}$$

*Ecuación 1. Indicador de relación consumo energético vs. producción.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

- **Energía medida promedio por hora:** Dato obtenido de los medidores de energía recomendados a instalar en cada uno de los procesos.
  - **Quintales producidos x Hora:** Dato obtenido de las bitácoras de rendimiento de producción.
8. Así también, se recomienda la implementación de un indicador que permita medir el cumplimiento de las actividades que se programarán, resultado de la planificación de las actividades de mantenimiento predictivo. Para ello se propone un indicador que se denomine, **Cumplimiento de Actividades Programadas (CAP)**, el cual se calcularía de la siguiente manera:

$$CAP = \frac{\# \text{ actividades ejecutadas}}{\# \text{ actividades programadas}} \times 100\%$$

*Ecuación 2. Indicador de Cumplimiento de Actividades Programadas (CAP)*

*Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

CAP: Cumplimiento de Actividades Programadas.

# actividades ejecutadas: Actividades Predictivas concluidas o finalizadas.

# actividades programadas: Actividades Predictivas programadas en un periodo de tiempo establecido.

Se sugiere que el indicador se calcule para un periodo de un mes calendario, siendo el límite inicial de cumplimiento para éste de al menos un 65% (>65%). Pudiéndose revisar anualmente los cumplimientos mensuales, para ir incrementando este límite inicial.

9. También, dentro de la propuesta de mejora creemos conveniente abordar la metodología y definir una cultura de acciones que permitan establecer un ciclo de mejora continua en este tema a través de una gestión, y es que el principal objetivo de establecer una metodología es que claramente exista un área responsable de enfocarse en análisis energéticos que permitan a la organización optimizar sus operaciones reduciendo costos y ser más eficientes.

### **Establecer una metodología**

Consideramos que es importante establecer una metodología de trabajo liderada por el equipo de mantenimiento, ingeniería y producción enfocado en 5 elementos fundamentales **células de trabajo, planificación, medición, análisis y control**.

**Células de trabajo:** las células de trabajo del equipo enfocado al análisis energético pueden ser conformada por los electricistas de la planta y acompañada por el equipo de ingeniería. La finalidad es conformar un equipo multidisciplinario que pueda tomar riendas en el tema de energía de la organización.

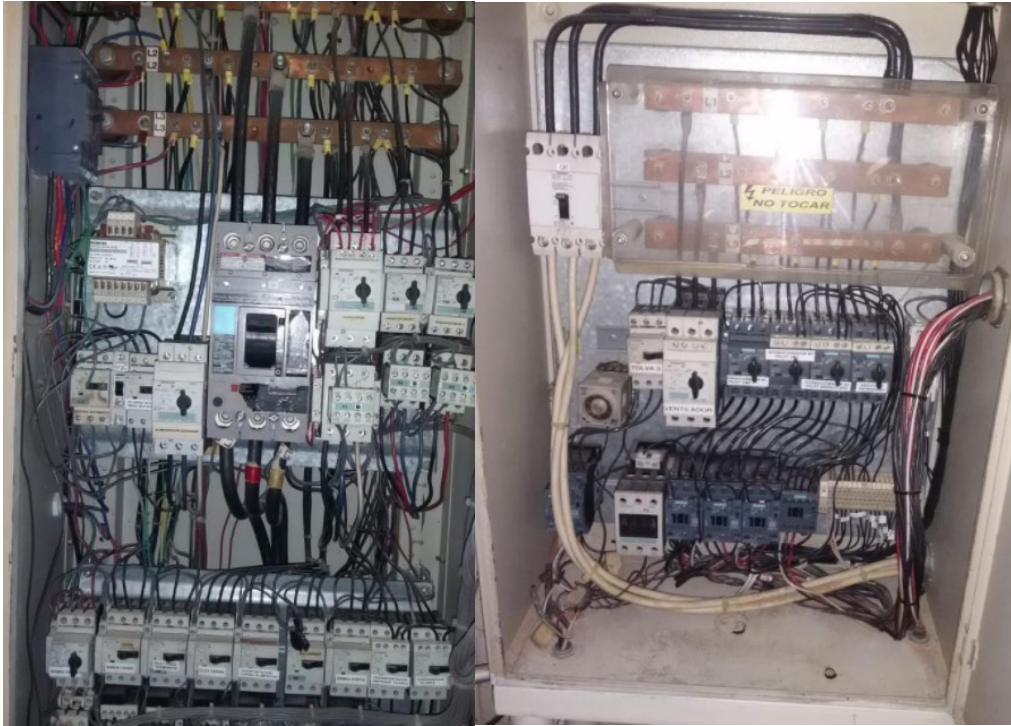
**Planificación:** Es importante ya que se cuenta con el levantamiento de todos los activos de la planta, realizar un plan de trabajo para el análisis de los motores de la planta y su relación en productividad. La planificación establecerá objetivos medibles y parámetros de control para la organización.

**Medición:** Las mediciones deberán realizarse no solamente en los equipos principales, sino en función de los objetivos que persiga la planificación. Para esto es importante tomar de referencia los distintos productos, materias primas y variables críticas del proceso que puedan tener incidencia.

**Análisis:** El equipo multidisciplinario debe realizar análisis de las mediciones obtenidas, y es importante en esta etapa se establezcan los parámetros de control. Sobre todo, es importante que en esta etapa se realicen las propuestas de mejora que se deberán realizar.

**Control:** Una vez establecidas las variables críticas de control, se deberán monitorear periódicamente, lo que vendrá sustentado por la planificación anual realizada.

10. Centralización de costos energéticos por proceso. Es importante realizar una centralización de elementos eléctricos tanto de potencia y control por proceso, puesto que actualmente las conexiones en los tableros eléctricos involucran diversos procesos productivos y no se cuenta con identificación de estos.



*Ilustración 24. Estado actual de paneles eléctricos de distribución de energía, donde se mezclan equipos de diferentes procesos de producción.*

*Fuente: Sistema instalado en Balanceados S.A. de C.V.*

Se identificó que en algunos equipos principales se cuentan con medidores de energía. Esto debería replicarse para todos los demás procesos productivos, de esta manera, se puede tener una manera estructurada de medición y cuantificar las desviaciones en los objetivos. Esto permitiría añadir a la clasificación de procesos productivos sus costos energéticos respectivos.



*Ilustración 25. Medidor energético instalado en panel eléctrico de equipos de producción.*

*Fuente: Dispositivos instalados en Balanceados S.A. de C.V.*

## Resumen de propuestas de mejora y recomendaciones

<b>Propuesta y recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.</b>	
1.	Sustitución de motor en Peletizadora #1, del proceso Peletizado. $P_{\text{actual}}=140\text{hp}$ y $\eta_{\text{actual}}=80\%$ ---> $P_{\text{propuesta}}=125\text{hp}$ y $\eta_{\text{propuesta}}=95.5\%$ Ahorro en consumo energético=100,095 kWh/año Ahorro Total= US\$16,705.00/año Monto inversión= US\$16,583.00 ---> Retorno de inversión=0.99 años
2.	Sustitución de motor en Peletizadora #2, del proceso Peletizado. $P_{\text{actual}}=120\text{hp}$ y $\eta_{\text{actual}}=88\%$ ---> $P_{\text{propuesta}}=125\text{hp}$ y $\eta_{\text{propuesta}}=95.5\%$ Ahorro en consumo energético=47,527 kWh/año Ahorro Total= US\$7,916.00/año Monto inversión= US\$16,583.00 ---> Retorno de inversión=2.09 años
3.	Sustitución de motor en Extrusor #2, del proceso Extrusado. $P_{\text{actual}}=125\text{hp}$ y $\eta_{\text{actual}}=86\%$ ---> $P_{\text{propuesta}}=100\text{hp}$ y $\eta_{\text{propuesta}}=95.0\%$ Instalación de un arrancador estrella-delta. Ahorro en consumo energético=29,422 kWh/año Ahorro Total= US\$4,865.00/año Monto inversión= US\$16,764.75 ---> Retorno de inversión=3.45 años
4.	Sustitución de motor en Extrusor #1, del proceso Extrusado. $P_{\text{actual}}=140\text{hp}$ y $\eta_{\text{actual}}=87\%$ ---> $P_{\text{propuesta}}=100\text{hp}$ y $\eta_{\text{propuesta}}=95.0\%$ Ahorro en consumo energético=31,732 kWh/año Ahorro Total= US\$5,369.00/año Monto inversión= US\$13,634.00 ---> Retorno de inversión=2.54 años
5.	Ejecutar una revisión al sistema de alimentación de materia prima hacia el molino #3, del proceso, ya que se detecta una fluctuación en el consumo energético de éste.
6.	Realizar reparaciones de los martillos de los molinos.
<b>Propuestas y recomendaciones para la mejora de la mantenibilidad</b>	
7.	Implementación de técnicas de mantenimiento basadas en condición (mantenimiento predictivo) tales como: análisis de vibraciones, termografía y medición de resistencia de aislamiento en motores eléctricos.
<b>Propuestas y recomendaciones para el control de la gestión</b>	
8.	Implementación del indicador Control de Consumo Energético Productivo (CCEP)
9.	Implementación del indicador Cumplimiento de Actividades Programadas (CAP)
10.	Establecer una metodología de trabajo enfocada en un ciclo de mejora continua.
11.	Centralización de costos energéticos por procesos, implementado la instalación de medidores de energía.

Tabla 28. Resumen de propuestas de mejora y recomendaciones.

Fuente: Elaboración propia.

## XII. CONCLUSIONES

- La oportunidad de minimizar costos a través de mejoras a nivel de estrategias energéticas en Balanceados S.A. de C.V. es sumamente alta, como se demuestra en los resultados de este trabajo, donde los equipos en estudio representan el 61% del consumo energético en la facturación mensual.
- Si bien es cierto Balanceados S.A. de C.V. cuenta con historial de fallas y asignaciones de mantenimiento, es importante la creación de un plan maestro de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Sobre los motores principales analizados se comentó, a excepción del Molino Pulverizador #2, que todos han sido rebobinados y se compartió que el resto de motores dentro de la planta de producción en equipos de transporte también, dentro de los límites de este trabajo no se encuentran estos equipos, pero es una oportunidad de mejora aún más grande para Balanceados S.A. de C.V. mediante esta guía analizar el resto de su planta. La práctica del rebobinado de motores debe ser analizada en función del costo beneficio que esto pueda implicar para la organización, si es debido a una reparación eventual de emergencia para continuar las operaciones o que este quede en función de manera permanente impactando negativamente en el costo energético del proceso.
- Las propuestas generadas para el cambio de motores en el proceso de peletizado y extrusado, permitirán un ahorro en la facturación de consumo energético anual equivalente al 14.43%, lo cual se verá reflejado en su indicador de costo por quintal.
- Dentro de la fabricación de alimentos balanceados los procesos primarios de transformación de granos hacia harina son sumamente cruciales, por tanto, es importante que se busque a través de arreglos mecánicos optimizar y estabilizar sus operaciones, evitando paros recurrentes por alimentación de materia prima, tal como se observó en el molino #3 de soya donde por la naturaleza de la materia prima no tiene una correcta alimentación, esto debido al diseño geométrico del cono de la tolva actual.
- En la actualidad, el departamento de mantenimiento, en específico dentro de Balanceados S.A. de C.V., ha fijado una visión que contempla la optimización de los recursos, minimice los gastos y brinde soluciones eficaces para la optimización de la eficiencia en los procesos productivos, todo dentro del marco de la planificación estratégica de la organización. Este trabajo se convierte en una herramienta que aportara a cumplir con ello, incluyendo el control a nivel energético de los equipos principales e incentivar a una búsqueda de la mejora continua.

- La centralización de elementos eléctricos, tanto de potencia y control, por procesos, permitiría añadir a la clasificación de procesos productivos sus costos energéticos respectivos y controlar mejor el mantenimiento por cada uno de ellos.
- Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que nos ayudan a determinar el nivel de importancia de cada uno de los activos de una instalación, para poder así orientar los recursos de un manera más efectiva y eficaz. Por lo que valdrá la pena reforzar la clasificación de criticidad de los diferentes equipos y dispositivos que conforman los sistemas en evaluación durante el desarrollo de este documento.
- Las técnicas de mantenimiento basadas en condición, mantenimiento predictivo, evalúa el estado de los equipos o sistemas, recomendando si es necesario intervenir o no, lo que se convierte en significativos ahorros. Tomando en consideración que la mayoría de los modos de fallo tienen una evolución lenta, emitiendo mensajes desde sus etapas incipientes (vibraciones, ultrasonidos, etc.), los cuales pueden ser descifrados mediante la aplicación de técnicas predictivas, logrando así determinar el estado de los activos críticos y encontrar el momento óptimo para su reparación.
- La implementación de indicadores permite medir la eficacia y eficiencia de un proceso, para el caso de la mantenibilidad, un indicador que permita medir el cumplimiento de las actividades que se programan, resultado de la planificación de las actividades de mantenimiento predictivo, es una de las maneras ideales para conocer la eficacia del área de mantenimiento. Para el caso del indicador energético, relacionado directamente con el volumen de producción, permitirá tener el conocimiento y el control del consumo en función de la productividad de cada uno de los equipos principales.

-

### **XIII. BIBLIOGRAFÍA**

- Parra C. y Crespo A. – Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Segunda Edición, 2015.
- Schofield E. – Feed Manufacturing Technology. American Feed Industry Association, Inc., 2005.
- Kipfer T. y Jacobson C. – Key Features to Fine & Micro Grinding, 2019.
- Norma Internacional ISO 50002, Auditorías Energéticas. Requisitos con orientación para su uso, 2014.
- Mendoza M., Henríquez R. y Guardado H. – “Diagnostico Energético en una Planta de Serigrafía Textil, Propuesta de Ahorro” Trabajo de fin de Carrera para el Grado de Maestro en Gerencia de Mantenimiento Industrial, Universidad Don Bosco, El Salvador, 2020.
- Moubray J. – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español, 2004.