

Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial



Desarrollo de una auditoría energética para la granja avícola Los Alpes en Venecia de San Carlos

Informe de práctica de especialidad para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura

Jorge Alberto Paniagua Barboza

Cartago, Costa Rica

Junio, 2015



- Canadian Engineering Accreditation Board
- Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie

Carrera evaluada y acreditada
por: **CEAB**

**Desarrollo de una auditoría energética para la granja avícola Los Alpes en
Venecia de San Carlos**

Profesor Guía:

Ing. Guillermo Villalobos

Asesor Industrial:

William Alfaro

Tribunal Examinador:

Ing. Osvaldo Guerrero

Ing. Gilbert Bonilla

Información del estudiante y de la empresa

Información del Estudiante:

Nombre: Jorge Alberto Paniagua Barboza

Cédula: 206650975

Carné ITCR: 200838882

Dirección de residencia permanente: Aguas Zarcas, San Carlos, Alajuela

Teléfono: 89110721

Email:albertopb89@gmail.com

Tel-fax: 24744285

Información del Proyecto:

Nombre del Proyecto: Desarrollo de una auditoría energética para la granja avícola Los Alpes en Venecia de San Carlos.

Profesor Asesor: Guillermo Villalobos

Horario de trabajo del estudiante: lunes a viernes, de 8 am a 5 pm

Información de la Empresa:

Nombre: Sociedad 3-102480834 SRL

Zona: San Carlos

Dirección: Los Alpes de Venecia, San Carlos, Alajuela

Teléfono: 83837127

Actividad Principal: Engorde de Pollos

DEDICATORIA

Con todo mi amor para Arturo Paniagua y Roxana Barboza, gracias papi y mami por transmitirme todo lo que me hace una persona de bien, por estar siempre a mi lado apoyándome en mis proyectos y aventuras. Para mis hermanos, Francisco, Moisés, Rebeca y Débora, gracias por su apoyo y amor.

AGRADECIMIENTO

A mis papás por brindarme su apoyo e infinito amor. A mis hermanos por su ayuda y cariño.

A Itzen Valverde, Rodney Gamboa y Juan Pablo Esquivel, quienes siempre han estado a mi lado resolviendo mis dudas, tanto las teóricas como las existenciales.

A todos mis amigos, que me han acompañado en este interesante viaje por la vida, resolviendo las tristezas y celebrando las alegrías.

ÍNDICE

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice	v
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figuras.....	x
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
1 Introducción	1
1.1 Justificación del proyecto	1
1.2 Definición del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Alcance y limitaciones.....	5
1.5 Descripción de la empresa.....	5
1.5.1 Misión	7
1.5.2 Visión.....	7
1.6 Descripción del Proceso Productivo	8
2 Marco Teórico	10
2.1 Gestión de la energía en la industria	10
2.2 Auditoría Energética.....	11
2.3 Marco Legal	12

2.4	Motores	13
2.5	Bases de datos	18
2.6	Aves de Corral	19
3	Metodología	24
3.1	Recolección y análisis de uso histórico de la energía	24
3.2	Descripción y análisis de sistemas que consumen energía	24
3.2.1	Carga Eléctrica Instalada	24
3.2.2	Análisis de consumo energético	25
3.3	Análisis y selección de oportunidades de conservación de energía	25
4	Auditoria energética	26
4.1	Recolección y análisis de uso histórico de la energía	26
4.2	Descripción y análisis de sistemas que consumen energía	34
4.2.1	Carga Eléctrica Instalada	34
4.2.2	Análisis de consumo energético	43
4.3	Análisis y selección de oportunidades de conservación de energía	63
4.3.1	Cambio Distribución de carga por Iluminación	63
4.3.2	Cambio de fecha de ingreso de parvada	64
4.3.3	Mantenimiento en Extractores	64
4.3.4	Instalación de Aislante	65
4.3.5	Techo falso	66
4.3.6	Sistema de Emergencia	68
4.3.1	Energía Renovable	69
5	Conclusiones	70
6	Recomendaciones	72

7	Bibliografía Consultada.....	73
8	Referencias Bibliográficas.....	77
9	Apéndice.....	78
9.1	Metodología para Diagnosticar Energéticamente un Motor Eléctrico de Inducción	78
9.2	Carga Instala.....	81
9.3	Diagramas Unifilares.....	88
9.4	Curva de temperaturas	95
9.5	Calculo de horas iluminación	95
9.6	Calculo de horas de extractor por parvada	96
9.7	Deslizamientos.....	97
9.8	Mediciones Fluke	97
9.9	Eficiencia de Extractores.....	117
9.10	Calculo de vida de cojinetes	123
9.11	Cálculo de Aislante	126
9.12	Instalación de Techo Falso	130
9.13	Parvadas.....	134
9.14	Sistema de Emergencia.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Costos anuales de energía en la granja avícola Los Alpes.....	27
Tabla 4.2. Valores asignados a los dígitos de la codificación desarrollada.....	35
Tabla 4.3 Representación asignada a los equipos electromecánicos de la granja. ...	35
Tabla 4.4 Carga eléctrica instalada en el galpón 1	39
Tabla 4.5 Carga eléctrica instalada en la granja por galpón	39
Tabla 4.6 Diagnóstico Energético de los extractores evaluados	49
Tabla 4.7 Volumen desplazado y eficiencia de extractores.	54
Tabla A9.2.0 Carga Instalada en el sector administrativo	81
Tabla A9.2.1 Carga Instalada en el Galpón 1	82
Tabla A9.2.2 Carga Instalada en el Galpón 2	83
Tabla A9.2.3 Carga Instalada en el Galpón 3	84
Tabla A9.2.4 Carga Instalada en el Galpón 4	85
Tabla A9.2.5 Carga Instalada en el Galpón 5	86
Tabla A9.2.6 Consumo de energía estimado por parvada	87
Tabla A9.4.1 Curva de temperaturas conforme día de crecimiento	95
Tabla A9.5.1 Iluminación administrada a los pollos de engorde según día de desarrollo	95
Tabla A9.5.1 Costo de Iluminación por parvada	95
Tabla A9.6.1 Uso aproximado de extractores según posición y día de desarrollo	96
Tabla A9.7.1 Velocidad de extractores y deslizamiento calculado.....	97
Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1. ...	118
Tabla 9.9.1 Corriente demandada por todos los extractores de la granja.....	118
Tabla 9.9.2 Volumen desplazado y eficiencia de extractores	119

Tabla 9.9.3 Eficiencia promedio de los extractores por galpón.....	120
Tabla 9.9.4 Caudal y corriente promedio de galpones antiguos y nuevos	120
Tabla 9.9.5 Horas de funcionamiento, eficiencia y ahorro estimado por galpón	121
Tabla 9.9.1 Vida útil calculada para cojinetes	125
Tabla 9.12.1 Volumen desplazado y eficiencia de extractores.....	127
Tabla 9.12.1 Volumen desplazado y eficiencia de extractores.....	130
Tabla 9.12.2 Disminución de horas extractor y ahorro proyectado por el techo falso	130
Tabla 9.12.3 Costos asociados a instalación de techo falso	131
Tabla 9.13.1 Fechas de ingreso de parvadas a la granja	134
Tabla 9.13.2 Consumo eléctrico de acometida 1 para una parvada	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Disposición de galpones en granja Avícola Los Alpes	6
Figura 1.2 Granja Avícola Los Alpes, vista lateral.....	7
Figura 1.3 Pollos de primer y última semana de desarrollo.	8
Figura 2.1 Aspectos constructivos de motores asincrónicos.....	14
Figura 2.2 Curvas características de funcionamiento de motores asincrónicos.....	16
Figura 2.3 Ejemplo de división de información en tablas.	18
Figura 2.4 Ejemplo de Interrelaciones entre tablas.	19
Figura 2.5 Posición de cortinas para un galpón ventilado por túnel.....	21
Figura 2.6 Principio de Ventilación por túnel.....	22
Figura 2.7 Sensación térmica de las aves a diferentes velocidades de aire.	23
Figura 4.1 Curva de consumo de energía eléctrica (kWh) de la acometida 1 en el período de abril del 2013 a marzo del 2015.....	28
Figura 4.2 Curva de consumo de energía eléctrica (kWh) de la acometida 2 en el período de abril del 2013 a marzo del 2015.....	28
Figura 4.3 Curva de demanda (kW) de la acometida 1, período de abril del 2013 a marzo del 2015	29
Figura 4.4 Facturación de servicio eléctrico (¢) en acometida 1, período abril, 2013 a marzo, 2015.	30
Figura 4.5 Costo de servicio eléctrico de la acometida 2 en el período de abril del 2013 a marzo del 2015.	31
Figura 4.6 Estado del aislante en galpones 1,2 y 3 de la granja.....	32
Figura 4.7 Estado de conexión en transferencia manual 1	33
Figura 4.8 Tipos de equipos de la granja.....	37

Figura 4.9 Interfaz de ingreso de equipo a la base de datos.	38
Figura 4.10 Distribución de la carga instalada en la granja por tipo de equipo.	40
Figura 4.11 Diagrama Unifilar general de la granja avícola Los Alpes.	42
Figura 4.12 Consumo energético diario (kWh) de la acometida 1 durante una parvada, del día 27 de febrero al 10 de abril del 2015.	44
Figura 4.13 Registro de comportamiento diario de la demanda en kW de la acometida 1, durante la parvada con día de ingreso 27 de febrero y salida 10 de abril del 2015.	45
Figura 4.14 Registro de comportamiento horario de la demanda en kW de la acometida 1 durante el día 27 de marzo del 2015.	46
Figura 4.15 Distribución del consumo energético por tipo de equipo durante una parvada.	47
Figura 4.16 Extractor Marathon Electric monofásico de 1,12 kW y detalle de sistema tensor.	47
Figura 4.17 Horas de funcionamiento de extractores por parvada y posición.	48
Figura 4.18 Planta de emergencia Caterpillar D333 de 125 kW.	57
Figura 4.19 Comportamiento de la planta de emergencia conforme el encendido de todos los extractores de la granja	58
Figura 4.20 Comportamiento de la planta de emergencia conforme el encendido de todos los extractores de la granja	59
Figura 4.21 Base de datos generada para la granja avícola Los Alpes	62
Figura 4.22 Instalación de techo falso en granja avícola.	67
Figura A9.1.1 Metodología para realizar mediciones con el Fluke 43B	79
Figura A9.3.1 Diagrama Unifilar Granja Los Alpes.	88
Figura A9.3.2 Distribución de tablero general Área Oficina	89
Figura A9.3.3 Distribución de tablero general Galpón 1	90

Figura A9.3.4 Distribución de tablero general Galpón 2.....	91
Figura A9.3.5 Distribución de tablero general Galpón 3.....	92
Figura A9.3.6 Distribución de tablero general Galpón 4.....	93
Figura A9.3.7 Distribución de tablero general Galpón 5.....	94
Figura A9.8.1 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E01	98
Figura A9.8.2 Registro de voltaje y corriente para el extractor 1E01	98
Figura A9.8.3 Arranque registrado en el extractor 1E01	99
Figura A9.8.4 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E02	99
Figura A9.8.5 Arranque registrado en el extractor 1E02	100
Figura A9.8.6 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E03	100
Figura A9.8.7 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E07	101
Figura A9.8.8 Arranque registrado en el extractor 1E07	101
Figura A9.8.9 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E10	102
Figura A9.8.10 Arranque registrado en el extractor 1E10	102
Figura A9.8.11 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E01	103
Figura A9.8.12 Arranque registrado en el extractor 2E01	103
Figura A9.8.13 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E02	104
Figura A9.8.14 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E03	104
Figura A9.8.15 Arranque registrado en el extractor 2E03	105
Figura A9.8.16 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E08	105
Figura A9.8.17 Arranque registrado en el extractor 2E08	106
Figura A9.8.18 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E01	106
Figura A9.8.16 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E02	107
Figura A9.8.17 Arranque registrado en el extractor 3E02	107

Figura A9.8.18 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E03	108
Figura A9.8.19 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E06	108
Figura A9.8.20 Arranque registrado en el extractor 3E06	109
Figura A9.8.21 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E10	109
Figura A9.8.22 Arranque registrado en el extractor 3E10	110
Figura A9.8.23 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E01	110
Figura A9.8.24 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E02	111
Figura A9.8.25 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E10	111
Figura A9.8.26 Arranque registrado en el extractor 4E10	112
Figura A9.8.27 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E12	112
Figura A9.8.28 Arranque registrado en el extractor 4E12	113
Figura A9.8.29 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E13	113
Figura A9.8.30 Arranque registrado en el extractor 4E13	114
Figura A9.8.31 Fluctuaciones registradas en el extractor 5E01	114
Figura A9.8.32 Fluctuaciones registradas en el extractor 5E02	115
Figura A9.8.33 Fluctuaciones registradas en el extractor 5E03	115
Figura A9.8.34 Corriente en el cable a tierra durante el encendido y apagado de las luces en la granja	116
Figura A9.9.1 Características nominales de extractores	117
Figura A9.9.2 Consumo energético de la granja con los extractores encendidos	118
Figura A9.11.1 Especificación Técnica de Aislante Prodex AD10	126
Figura A9.12.1 Instalación de techo falso en granja avícola en Río Cuarto	133

RESUMEN

El desarrollo de la auditoría energética en la granja avícola Los Alpes, situada en los Alpes de Venecia en San Carlos, se realizó siguiendo la metodología estipulada por la ASHRAE para auditorías nivel II. Consistió en la elaboración de un diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la granja por equipo y galpón, generando información de línea base energética para orientar la toma de decisiones en materia de ahorro energético e identificar opciones de ahorro que contribuyan a mejorar su desempeño.

Debido a que el consumo energético varía según el clima y la temperatura en que se desarrolle la parvada, se determina un consumo promedio de 30 000 kWh por parvada. De este valor, la ventilación representa el 88%; la iluminación, el 7%; el sistema de refrigeración por aspersión, 2%; el sistema de comederos automáticos, 2%; y otras cargas, 1%.

Debido a que la ventilación presenta un uso significativo de la energía en la granja, con un consumo promedio de 25 177 kWh, las oportunidades de conservación de energía se orientaron hacia la mejora del sistema de ventilación en los galpones, como el mantenimiento correctivo en la tensora del sistema de transmisión de potencia, que incrementará el flujo de aire desplazado por extractor, y la instalación de un techo falso, que permitirá solventar las deficiencias en aislante, aumentará la velocidad del aire en los galpones y reducirá el volumen de aire a mover. Otras oportunidades de mejora se encontraron en la distribución de la carga de iluminación en cada fase y el estado de la planta de emergencia.

Palabras clave: Auditoría energética, eficiencia, ahorro, energía, ventilación, pollos, parvada.

ABSTRACT

The development of the energy audit at Los Alpes poultry farm, located in Los Alpes of Venecia, was made following the ASHREA'S methodology. It consisted on the elaboration of the diagnosis of the farm's energy consumption by equipment and broiler house, generating energy baseline's information for guide decision-making on energy savings and identifying savings options to help improve their performance.

Since the energy consumption varies according to climate and temperature at which the flock is developed, the average consumption of 30 000 kWh per flock is determined. From this value ventilation represents the 88%, lighting 7%, the cooling spray system 2% and automated feeding system 2% and others loads 1%.

Due to ventilation represents a significant use of energy on the farm, with an average consumption of 25 177 kWh, the opportunities for energy conservation were oriented towards improving the ventilation system in the broiler house, as the corrective maintenance in power transmission system tensor, to increase the flow of air displaced by extractor, and installing a suspended ceiling, which allow filling gaps in insulation, increase the air speed and reduce the volume of air to move. Other improvement's opportunities were found in the lighting load's distribution and the emergency system's condition.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación del proyecto

La sociedad de responsabilidad limitada 3-102480834 SRL tiene por fin ser un motor de progreso para la comunidad de los Alpes, generando empleos y desarrollo mientras realiza su actividad económica de forma rentable, eficiente y en armonía con el medio ambiente. Su actividad principal es la producción de pollos de engorde, los cuales vende a PIPASA SA en su totalidad. La granja avícola Los Alpes tiene capacidad para producir 156 000 pollos por parvada. Con el fin de garantizar el adecuado crecimiento de las aves, se busca proveer alimentación e hidratación adecuada, así como un ambiente controlado. Se administra las condiciones en que crecen los pollos con el fin de maximizar su crecimiento, salud y bienestar; de este modo, se generan resultados favorables en la productividad y rentabilidad económica.

Según Wiernusz (2008), un ambiente de crecimiento adecuado involucra factores como temperatura efectiva, iluminación, calidad del aire y espacio. Estos factores interactúan entre sí de forma dinámica; y tienen grandes repercusiones en la salud, actividad y conversión del alimento.

Fairchild y Lacy (2006) exponen en su artículo que la mejor manera de maximizar el potencial genético de crecimiento de las razas actuales de pollos es exponiéndolos a ambientes controlados, de forma tal que estos se encuentren en una zona de confort. Sin embargo, alcanzar esta zona de confort representa una gran inversión monetaria, tanto en alimentación, hidratación, suplementación, como en el mantenimiento de las condiciones.

La energía necesaria para mantener las condiciones de crecimiento dentro del galpón representa un factor crucial en la rentabilidad de la industria de los pollos de engorde. De esta manera reducir el consumo eléctrico ha sido un constante reto para los dueños de las granjas (Wiernusz, 2008).

En el caso de la sociedad 3-102480834 SRL, a la dificultad recién mencionada se le suma la realidad local. Según lo expuesto en el Estado de la Nación (Programa Estado de la Nación, 2013) la situación energética costarricense no es ni ambiental ni económicamente sostenible. Dentro de las causas para esta situación, se encuentra la postergación de inversiones estratégicas, los fenómenos asociados al cambio climático y un marco legal que ha imposibilitado la correcta explotación de energías limpias.

La demanda de electricidad aumentó a una tasa de 0,9% manteniendo la tendencia decreciente mostrada en los últimos años (antes del 2007 la demanda aumentaba a tasa de 5%). Sin embargo, la generación eléctrica a partir de hidrocarburos aumentó en 44%. Este cambio es preocupante, pues para producir un 8% de la electricidad generada en el país, las plantas térmicas generan el 72% de las emisiones de este sector. De esta forma el mayor uso de hidrocarburos para generación implica una mayor contaminación y grandes repercusiones en la huella ecológica generada (Programa Estado de la Nación, 2013).

El mayor uso de hidrocarburos incrementa la dependencia de combustibles fósiles, poniendo al país en una posición vulnerable, ya que no tiene control sobre las cotizaciones internacionales del petróleo; además, da lugar a tarifas más altas para los consumidores finales y mayores emisiones contaminantes, alejando al país de su meta de carbono neutralidad para el 2021 (Programa Estado de la Nación, 2013). Esta situación es preocupante, ya que Costa Rica tiene varios años sin mejorar su capacidad de generación eléctrica con fuentes limpias, y existe gran presión sobre los recursos hídricos y su impacto sobre la disponibilidad generado por el cambio climático (Programa Estado de la Nación, 2013).

Debido a la situación actual, se hace necesario desarrollar conciencia y utilizar la energía racional y eficientemente. Según McGahan, Warren, Davis, Phillips y Naylor (2014), medir cuánto, dónde y cuándo se está utilizando la energía permite realizar inversiones certeras, reduciendo en gran medida los costos operativos y su consumo energético.

El desarrollo de una auditoría energética en la granja avícola los Alpes es una necesidad latente. Su realización permitirá determinar los sectores donde el consumo energético se realiza de forma ineficiente estableciendo además las posibles mejoras. La implementación de las mejoras que se determinen viables generará beneficios económicos al reducir el consumo de un servicio cuyo precio, según las proyecciones, seguirá aumentando; también, traerá beneficios ambientales, al usar adecuada y eficientemente la energía disponible se estará reduciendo la huella de carbono generada por la granja (Agencia Andaluza de la Energía, 2011). El cambio en el consumo energético, buscando cumplir las necesidades de producción con el menor consumo posible, permite crear una línea de partida hacia la mejora constante, con el fin de alcanzar rentabilidad, crecimiento y sostenibilidad.

1.2 Definición del problema

El costo del consumo energético de la granja avícola los Alpes, de la sociedad 3-102480834 SRL, es elevado; y su patrón de consumo mensual es bastante irregular, variando entre €300 000 y €7 900 000. Además, de los 5 galpones con que cuenta la granja, los 3 más antiguos han mostrado problemas en equipos e instalación, situación que les impide alcanzar las condiciones ambientales que representan la zona de confort de las aves; esto repercute negativamente en la eficiencia de conversión de los pollos y las ganancias totales.

La granja no cuenta con diagramas eléctricos, distribución de carga, registros de uso, parámetros de funcionamiento o mantenimiento de equipos. El desconocimiento de

la forma de uso de energía en la granja impide la toma de decisiones para mejorar la gestión de la energía en la granja y disminuir la factura eléctrica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar una auditoría energética para la granja avícola Los Alpes de la sociedad 3-102480834 SRL en Venecia de San Carlos con el fin de disminuir el consumo energético de esta empresa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el consumo energético promedio de la granja por parvada.
- Determinar los equipos de uso significativo de la energía y su impacto en el consumo total.
- Evaluar el estado y distribución de la carga por iluminación en cada galpón.
- Evaluar el estado del aislante en los galpones y su efecto en rendimiento energético.
- Realizar un diagnóstico energético para los equipos con uso significativo de energía.
- Evaluar el estado, conexión y distribución de la planta de emergencia.
- Evaluar la viabilidad de implementación de las oportunidades de mejora detectadas.

1.4 Alcance y limitaciones

El presente proyecto consiste en el desarrollo de una auditoría energética en la granja avícola los Alpes, de la sociedad 3-102480834 SRL. Se realiza en conformidad con los lineamientos establecidos por la ASHRAE para auditorías de nivel II. Se analizará el consumo de energía eléctrica de los 5 galpones con que cuenta la granja y se evaluará la viabilidad de implementación de las oportunidades de mejora.

1.5 Descripción de la empresa

La sociedad de responsabilidad limitada 3-102480834 SRL nació en el año 2008 como respuesta a la fuerte demanda de granjas avícolas generada por el ingreso de empresas productoras de pollo en Costa Rica. Fue creada por los socios William Alfaro Gómez, con alta experiencia en el manejo de granjas avícolas, y Carlos Brenes Trejos, contador y administrador de empresas, con lo cual lograron una efectiva combinación interdisciplinaria que ha dado por fruto una empresa productiva, eficiente y de gran provecho para la zona.

En el año 2008, se desarrolló la construcción de la Granja Avícola Los Alpes, en los Alpes de Venecia de San Carlos. En ese momento, se construyeron 3 galpones con capacidad para desarrollar 100 000 pollos. Posteriormente, debido a la gran capacidad de producción presentada por la granja, sus ventajas competitivas y tecnológicas, se decidió terminar el contrato con Pollo Rey y se firmó contrato con PIPASA.

En el año 2014 se construyen 2 galpones más. Estos se realizaron con mejoras tecnológicas y estructurales, tomando en cuenta necesidades descubiertas en los galpones anteriores. Su construcción permite una producción total en la granja de 156 000 pollos por parvada.

La Figura 1.1 muestra la distribución de los galpones en la granja, sus dimensiones y capacidades. La Figura 1.2 muestra una foto de la granja: se aprecia el frente de los galpones, su diseño y materiales.

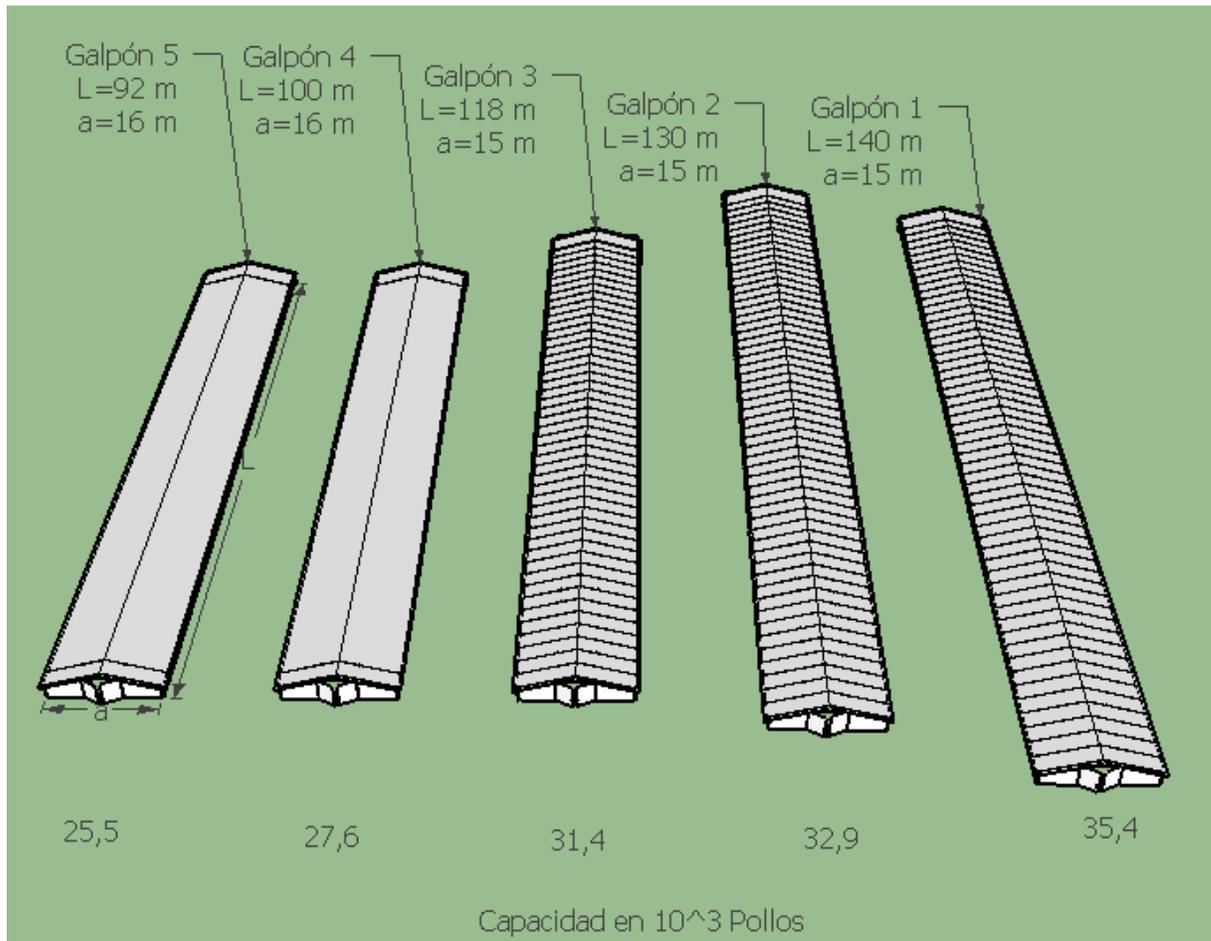


Figura 1.1 Disposición de galpones en granja Avícola Los Alpes
Fuente: elaboración propia utilizando SketchUp pro 2015.



Figura 1.2 Granja Avícola Los Alpes, vista lateral.

Fuente: fotografía propia.

Actualmente la granja cuenta con 7 empleados, 5 en horario diurno y 2 en horario nocturno. Además, al final de cada parvada se genera empleos y comercio, al vender la granza generada durante el crecimiento de los pollos. La sociedad 3-102480834 SRL está comprometida con la comunidad y el ambiente; busca el crecimiento de la comunidad de los Alpes de Venecia generando desarrollo, fuentes de empleo, realizando sus labores de forma eficiente y amigable con el ambiente.

1.5.1 Misión

Generar pollos de calidad, de forma rentable y amigable con el ambiente. Siendo un generador de desarrollo para la zona de los Alpes de Venecia.

1.5.2 Visión

Crecer de forma equilibrada y en armonía con el ambiente, generando a la vez producto de calidad de forma eficiente, y desarrollo y avance para la comunidad.

1.6 Descripción del Proceso Productivo

El período de crecimiento de una parvada de pollos de engorde comprende 40 días de desarrollo. Debido al corto tiempo de crecimiento las aves cambian sus necesidades de manera acelerada. En un proceso donde un día implica grandes ganancias de peso, atender las necesidades de las aves de manera óptima y en el momento preciso es vital para promover el crecimiento del pollo y generar una conversión de peso adecuada. La Figura 1.3 muestra pollos de primer y última semana de desarrollo.



Figura 1.3 Pollos de primer y última semana de desarrollo.

Fuente: fotografía propia

El proceso inicia en el día 1 con la llegada y descarga del pollo a las granjas. En este momento se debe calibrar la altura del sistema de bebederos y comederos; se revisa el sistema de ventilación y sellado.

Durante los primeros 7 días, el pollo no tiene la capacidad de regular su temperatura corporal, por lo que se debe mantener la temperatura elevada por medio de calefactores. Se inicia el día 1 en 32 °C y se disminuye hasta alcanzar el día 7 los 28.5 °C. El aire se renueva por medio de ventilación mínima, que consiste en uno o dos ventiladores que se encienden durante 20 segundos cada 5 minutos. En cuanto a la iluminación, debe ser de 24 horas.

A partir del día 7 estas aves pueden regular su temperatura corporal, por lo que la calefacción es removida y el programa de iluminación cambia a 20 horas diarias. Para el día 14 se recomienda una temperatura óptima de 26,5 °C, en esta fecha se realiza un muestreo de peso de segunda semana, y se inicia la ventilación de túnel, utilizando la cantidad de extractores necesarios para lograr la temperatura óptima programada según la etapa de crecimiento. El día 21 cambia el programa de iluminación a 22 horas diarias y la temperatura óptima a 25 °C, y desde el día 28 en adelante se debe procurar una temperatura de 22 °C. Alrededor del día 32 se realiza un raleo donde se baja la densidad de población de 17,5 a 13 pollos por metro cuadrado.

El día 40 salen los pollos e inicia el proceso de “alistado del galpón”, que se realiza en 20 días. Este proceso consiste en retirar la pollinaza, lavar, limpiar y desinfectar los galpones y sus equipos; recibir granza y armar equipo.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Gestión de la energía en la industria

Según la norma ISO 50001 (ISO, 2011), un Sistema de Gestión de Energía se define como un conjunto de elementos que interactúan para establecer una política energética y los procesos necesarios para alcanzar los objetivos propuestos. La gestión de la energía en la industria busca: identificar las pérdidas energéticas del sistema que impactan los costos; determinar sus causas; monitorear el comportamiento de los equipos y su desempeño; por medio de indicadores de eficiencia, evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción; y contar con un plan estratégico a corto, mediano y largo plazo (Chanto y Chanto, 2004).

Diversos factores promueven el desarrollo de proyectos de uso eficiente de energía como el constante crecimiento de las tarifas energéticas, la reducción de los costos de las tecnologías eficientes, la mejora de la imagen de la empresa a través de la gestión ambiental, el aumento en eficiencia, confiabilidad y la competitividad de la empresa (Chanto y Chanto, 2004). La organización e implementación de un programa eficaz de eficiencia energética que sea sostenible en el largo plazo es el resultado del entendimiento entre el costo y el consumo de energía, creando una metodología de análisis bien desarrollada y ejecutada (Chanto y Chanto, 2004).

Política energética

Cualquier gestión que pretenda administrar la energía en una empresa debe comprender necesariamente los fundamentos primarios de la gestión administrativa, es decir, los que inician con un deseo o intención clara (política empresarial) para el cumplimiento de metas, y se concretan en la ejecución de un programa de eficiencia energética. El buen éxito de un plan de conservación o de ahorro de energía enmarcado dentro de un programa de uso eficiente de la energía dependerá de una

adecuada organización que cuente con el apoyo decidido de la alta gerencia (Chanto y Chanto, 2004).

Línea base energética

La norma 50001 define la línea base energética como la referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético. Muestra un período específico y puede normalizarse utilizando variables que afecten el uso o consumo de la energía, por ejemplo: nivel de producción, grados-día (temperatura exterior). Permite crear una base para calcular ahorros energéticos, sirviendo como referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético.

2.2 Auditoría Energética

Las auditorías energéticas son una poderosa herramienta para el descubrimiento de mejoras operativas y de equipos que permitirán ahorrar energía, reducir costos y dar lugar a un mayor rendimiento. Son el primer paso para reducir el consumo de energía y mejorar el rendimiento del proceso y las instalaciones en general. El propósito de una auditoría energética es determinar dónde, cuándo, cómo y por qué es utilizada la energía en la planta (Pacific Northwest, 2011).

La auditoría parte de una revisión histórica del uso de la energía, seguido de una inspección general del estado del edificio y sus equipos. Su principal resultado es una lista de oportunidades de conservación de energía (OCE), asociadas al ahorro potencial que representa, inversión necesaria y tiempo de retorno de inversión.

La Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, ASHRAE, 2004), define 3 niveles de auditoría energética. Cada nivel de auditoría se construye sobre el anterior, aumentando la complejidad del estudio:

Nivel I: Es la evaluación del sitio o auditoría preliminar. Identifica oportunidades de ahorro que requieren baja inversión y una visión general de posibles mejoras. Las actividades que incluye son análisis de las facturas de energía y una breve inspección de las instalaciones.

Nivel II: Se trata del estudio y análisis ingenieril del uso energético. Identifica OCE de baja inversión, provee recomendaciones en línea con su disponibilidad económica de inversión y mejoras que representen potenciales elevados de ahorro. Incluye un análisis profundo de los costos de energía, el uso de energía, las características del edificio y un estudio más refinado de cómo se utiliza la energía en su edificio.

Nivel III: En este nivel se proporcionan recomendaciones sólidas y análisis financieros para opciones que requieren grandes inversiones de capital. Además de las actividades en Nivel I y II, ofrece un grado de supervisión mayor, monitoreo, recolección de datos y análisis de ingeniería.

2.3 Marco Legal

En Costa Rica no existe una Ley General de Electricidad que establezca los fundamentos generales en esta materia para todos los actores del sector. En su lugar, existe un amplio marco normativo para actores particulares que interactúan según los principios de cada legislación.

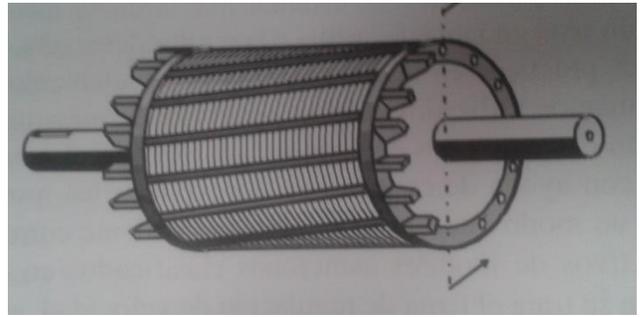
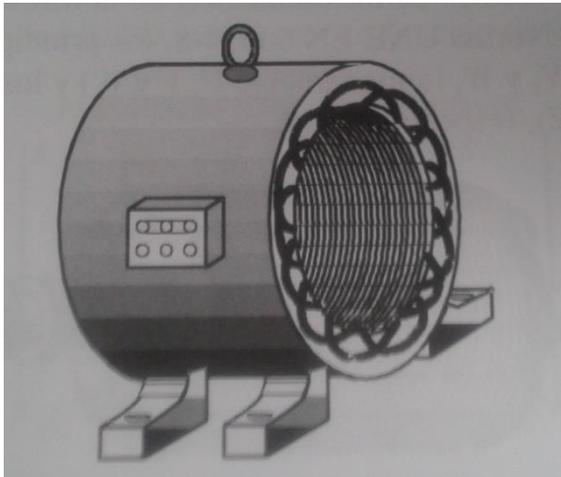
Para el sector privado destaca la ley N° 7447 "Regulación del Uso Racional de la Energía" (Asamblea Legislativa, 1994), cuyo objetivo es consolidar la participación del Estado en la promoción del uso racional de la energía considerando la protección del ambiente. La regulación se lleva a cabo por medio de mecanismos basados en proyectos de uso racional de energía en empresas de alto consumo, el control sobre los equipos y las instalaciones que inciden en la demanda energética.

2.4 Motores

Físicamente, la energía se define como la capacidad para hacer trabajo. Para que la potencia (que es la tasa con que se efectúa un trabajo) produzca una conversión de energía, debe ser utilizada por un período de tiempo. Además, entre mayor sea el tiempo que se realice el trabajo mayor será la energía demandada. Como la potencia se mide en watts (W, o Joules/s) y el tiempo en segundos, la energía se mide en watt-hora (Wh) o Joule (J) (Boylestad, 2004).

Un motor eléctrico recibe energía eléctrica y lo transforma en energía mecánica. El motor asincrónico se basa en el concepto de campo magnético giratorio, la corriente que circula en el devanado del motor se debe a la fuerza electromagnética inducida por la acción del flujo en el estator, por lo que también se les conoce como máquinas de inducción. Constructivamente, una máquina asincrónica se compone, como lo muestra la Figura 2.1, de un estator (normalmente es el que posee corriente conducida a sus arrollamientos) y un rotor (que debe su corriente a la fuerza electromagnética inducida por la acción del flujo en el estator).

La diferencia de velocidad entre el campo giratorio del estator y el rotor genera el torque en el rotor, conforme el rotor alcanza mayor velocidad el torque disminuye; el motor debe girar por consiguiente a una velocidad inferior a la de sincronismo, y esta velocidad disminuye conforme aumenta el par resistente de la carga que enfrenta el motor (Fraile, 2008).



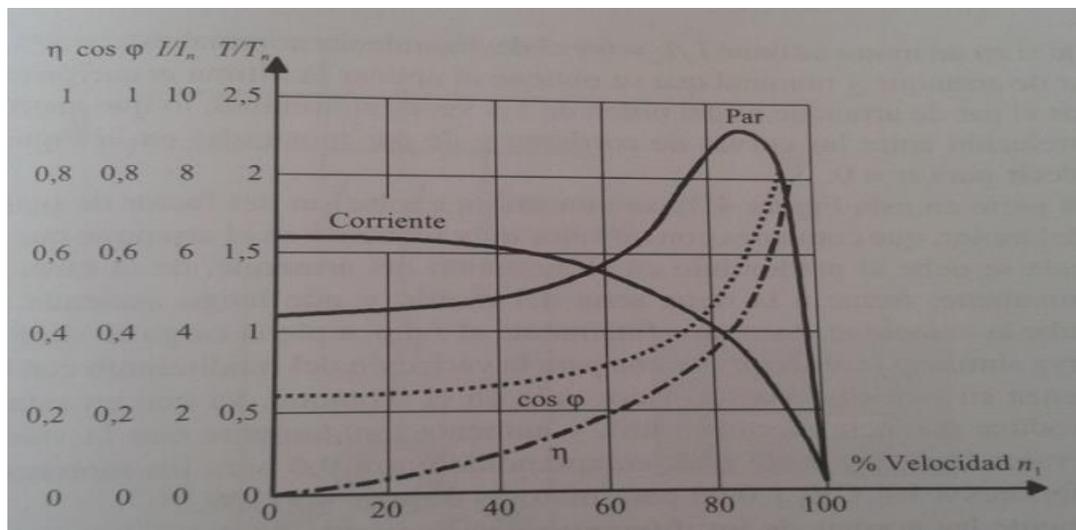
Izquierda: Estator de máquina de inducción

Derecha: Rotor tipo jaula de ardilla

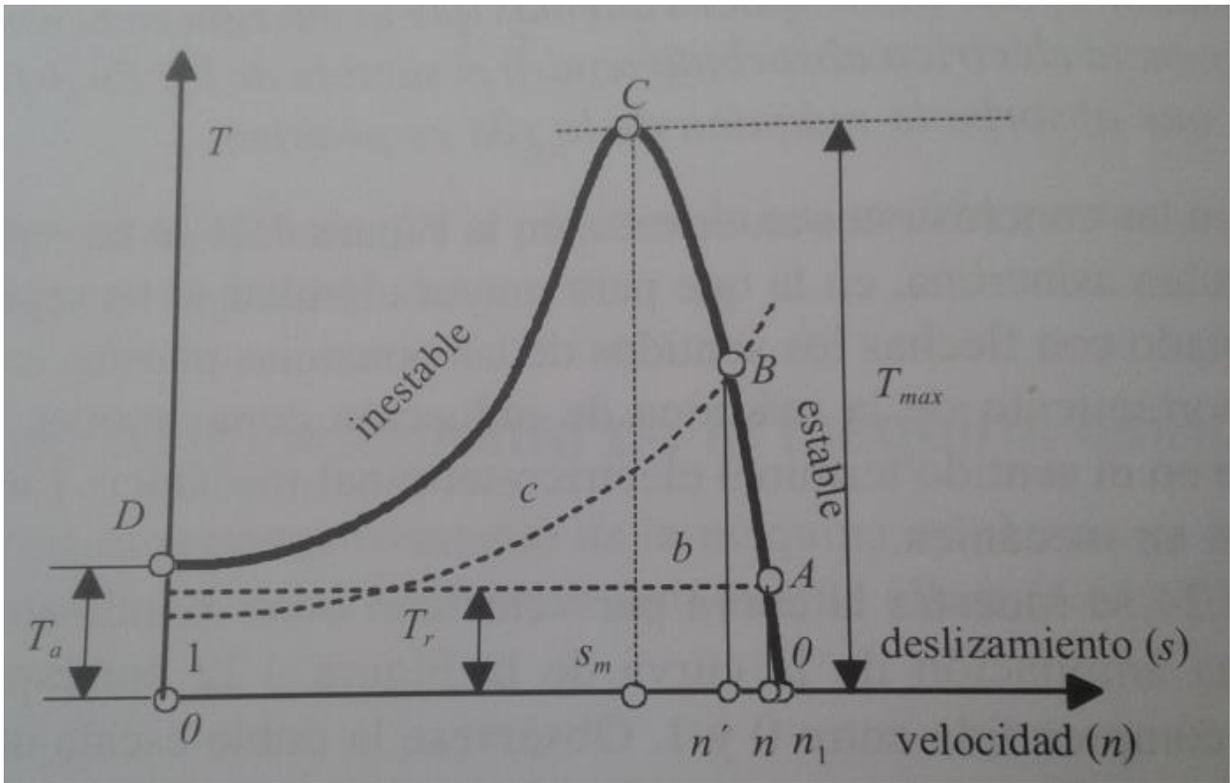
Figura 2.1 Aspectos constructivos de motores asincrónicos.

Fuente: Fraile, 2008

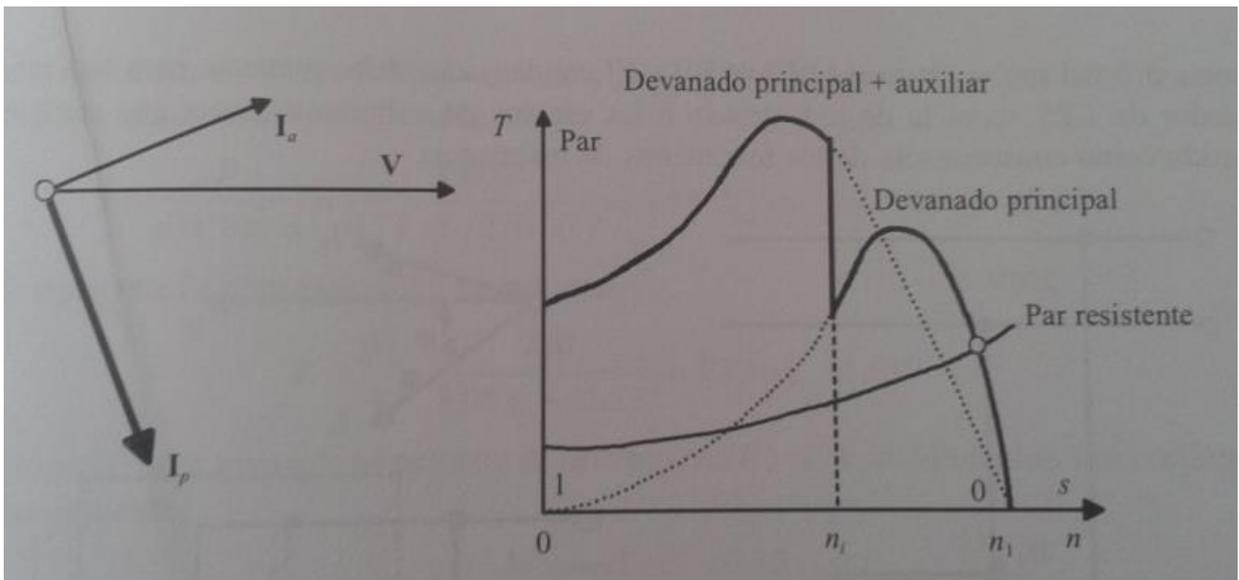
El arranque de un motor de inducción va acompañado de un consumo elevado de corriente, que oscila entre 4 y 7 veces la nominal; este valor se mantiene elevado hasta alcanzar el 80% de la velocidad final. La Figura 2.2a muestra el comportamiento de la corriente, el torque, la eficiencia y el factor de potencia de un motor asincrónico.



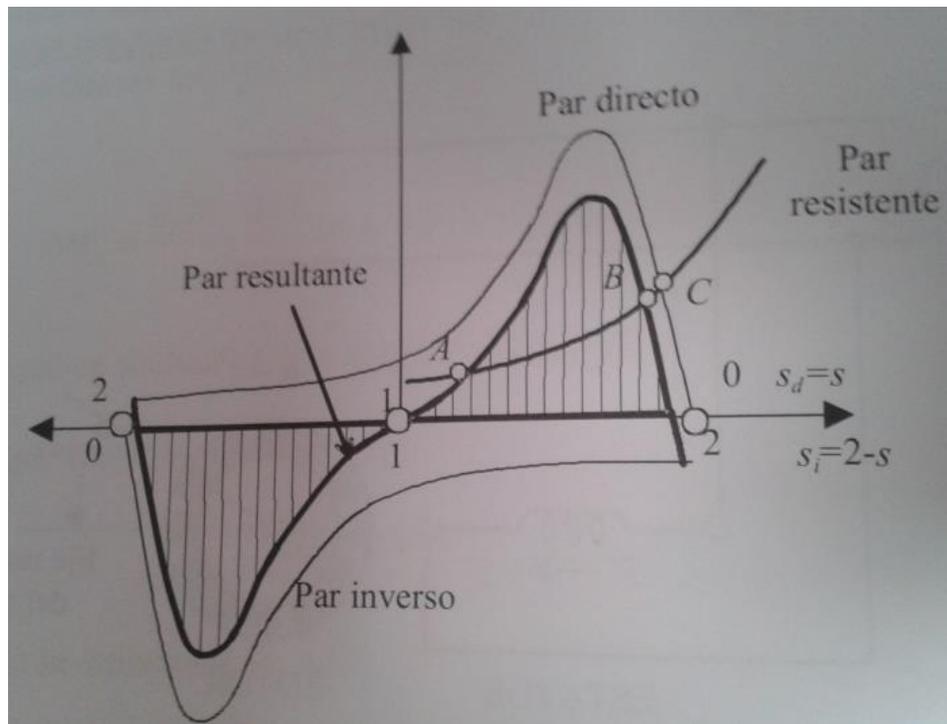
a. Curva de par, corriente, factor de potencia y rendimiento de un motor en función de la velocidad



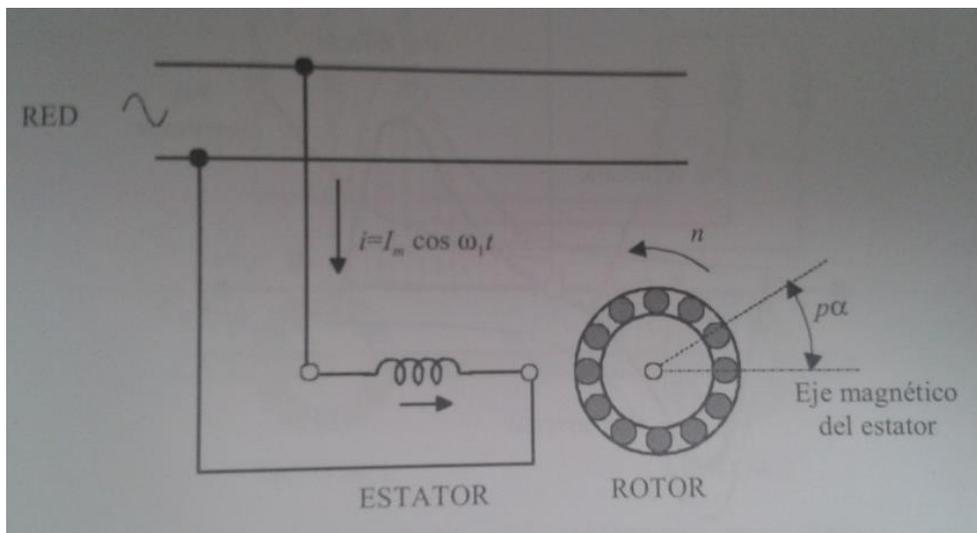
b. Curva par-velocidad de un motor asincrónico, par resistente creciente con la velocidad



c. Curva par-velocidad de un motor asincrónico monofásico con condensador



d. Curva par-velocidad de un motor asincrónico monofásico



e. Esquema de conexión básico de un motor asincrónico monofásico

Figura 2.2 Curvas características de funcionamiento de motores asincrónicos

Fuente: Fraile, 2008

Los motores monofásicos de inducción están formados por un rotor de jaula de ardilla análogo al de un motor trifásico y un estator (Figura 2.1), cuyo devanado es alimentado con corriente alterna monofásica. La Figura 2.2d muestra el esquema de conexión básico.

La corriente en el devanado del estator produce una fuerza y campo magnético proporcional en el entrehierro, que induce corrientes en el rotor, como si fuera el circuito secundario de un transformador, de tal forma los pares de rotación originados en las dos mitades del arrollamiento del rotor con el campo inductor del estator son opuestos entre sí, por lo que el par resultante que actúa sobre el rotor en reposo es nulo. La ausencia de par inicial de arranque impide a los motores monofásicos arrancar por sí mismos; sin embargo, si se impulsa en algún sentido la máquina, desarrolla un par interno que acelera el rotor hasta conseguir la velocidad de régimen. La Figura 2.2d muestra la curva par-velocidad para un motor monofásico asincrónico.

Existen diferentes métodos de arranque de un motor monofásico de inducción, por ejemplo: motor de fase partida, motor con arranque por condensador, motor con espira de sombra. La Figura 2.2c muestra la curva par-velocidad de un motor monofásico con arranque por condensador (Fraile, 2008).

Para entender el comportamiento de un motor cuando pone en movimiento una carga, es necesario entender la dependencia de la velocidad de rotación y el par resistente ofrecido por la carga. Existen cargas con par resistente constante, independiente de la velocidad, como el generado por ascensores, cintas transportadoras, montacargas; la curva par-velocidad está representada por la curva b en la Figura 2.2b. También, existen cargas con par resistente creciente con la velocidad, donde el par resistente es función del cuadrado de la velocidad, como los ventiladores, bombas, hélices; este comportamiento es representado en la Figura 2.2b por la curva c.

2.5 Bases de datos

Una base de datos es un conjunto de información estructurada que permite mantener registros actualizados, y darle seguimiento a avances y procesos. La información a almacenar se ubica adecuadamente en registros (normalmente las filas del software) y campos (columnas). Un registro es una forma lógica de combinar información; y un campo es un elemento único de información, un tipo de elemento que aparece en cada registro (Microsoft Office, 2015).

El primer paso para diseñar una base de datos es determinar por quién y para qué será utilizada, es decir, su finalidad. Una vez declaradas las intenciones, se debe organizar la información necesaria que se requiere en la base de datos, los informes que se esperan obtener.

Después de identificada la información necesaria, se debe descomponer cada pieza en sus partes lógicas más pequeñas. Por ejemplo, para un nombre se puede dividir como: nombre, apellido 1 y apellido 2. La información definida debe dividirse en temas principales; estos pasarán a ser tablas que tendrán los campos referentes a la entidad.

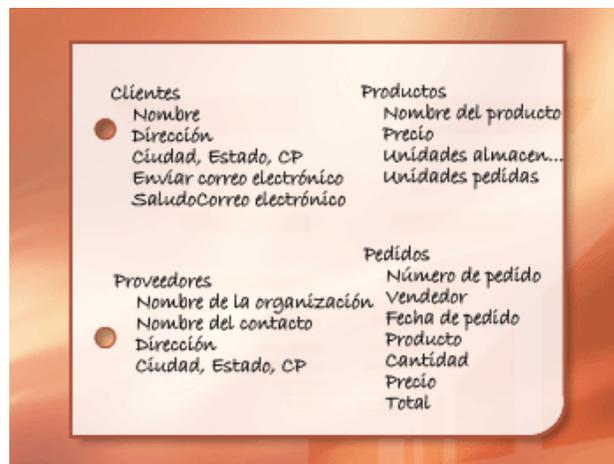


Figura 2.3 Ejemplo de división de información en tablas.

Fuente: Microsoft Office Support, 2015.

Una vez determinadas las tablas se debe escoger la información que contendrán, cada elemento se convertirá en un campo y se mostrará como una columna. Seguidamente, se debe especificar la clave principal que tiene como función identificar cada registro, como una cédula que permite identificar a cada persona.

Con las claves principales definidas se procede a interrelacionar las tablas. La Figura 2.4 muestra un ejemplo de este proceso.

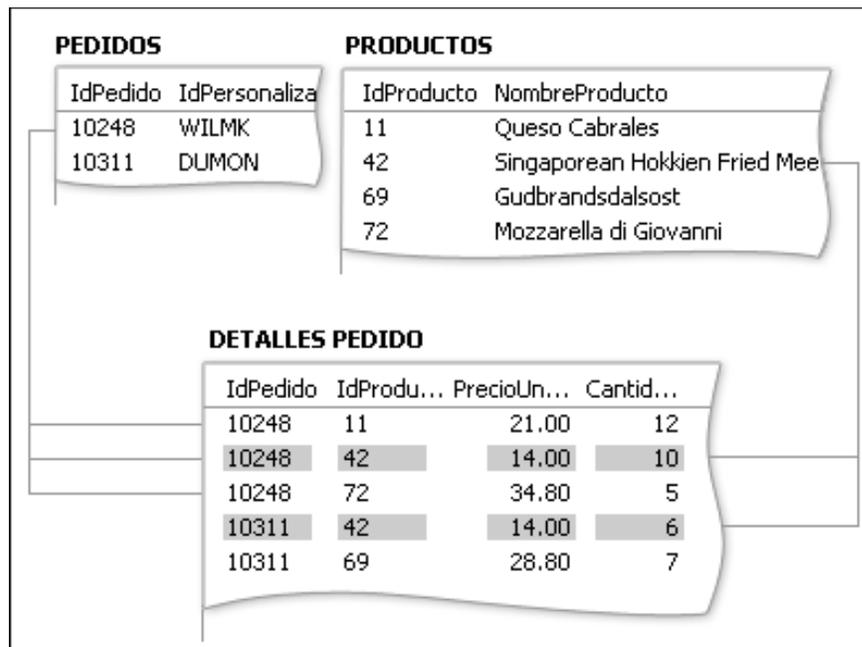


Figura 2.4 Ejemplo de Interrelaciones entre tablas.

Fuente: Microsoft Office Support, 2015.

Al finalizar la base de datos, se debe crear registros con datos de ejemplo con el fin de comprobar que se genere los resultados previstos.

2.6 Aves de Corral

La avicultura actual se encuentra potenciada en gran manera gracias al avance genético, que se refleja en las características de velocidad de crecimiento, conversión alimenticia, viabilidad y rendimiento en carne (Aviagen, 2009). Con el fin

de alcanzar el máximo rendimiento en conversión de alimento, se debe proporcionar a las aves las condiciones ambientales óptimas; siendo la temperatura el factor con mayores repercusiones. Variaciones en la temperatura óptima pueden tener efectos significativos en las ganancias generadas (Blakely, 2008).

Los pollos de una semana de desarrollo no pueden regular su temperatura interna y requieren una temperatura de aproximadamente 30°C (a 60% de humedad). Conforme las aves crecen, su rango de temperatura en la *zona de confort* baja, de tal manera que llegado el día 40 la temperatura óptima se encuentra alrededor de los 20°C (60% HR). En la Figura 1.3, se puede apreciar el cambio físico en los pollos de una semana y de seis semanas.

El exceso de calor es uno de los problemas más comunes durante el desarrollo de las aves. Con el objetivo de reducir este problema y mantener la temperatura interna del galpón dentro de la zona de confort, se han establecido diferentes formas de ventilación.

Al calor debido al ambiente debe sumársele el calor (y humedad) generado por las aves mientras realizan la conversión de alimento y agua en masa (no son 100% eficientes). Por lo general las aves producen aproximadamente 3,22 W (11 BTU/h) por cada kilogramo de peso (Aviagen, 2009).

Además del calor, la humedad en el galpón debe controlarse adecuadamente, debido a que se encuentra relacionada al amoníaco producido y a problemas de salud en las aves. De esta manera, se debe mantener una ventilación mínima constante con el fin de evitar problemas de cama húmeda y de amoníaco en el ambiente.

Debido al alto impacto de la ventilación en el crecimiento y desempeño de las aves, se han diseñado diferentes tipos de ventilación y se ha especificado el tiempo adecuado a ser introducidos. Entre estos tipos se encuentra la ventilación mínima y la ventilación por túnel.

El sistema de ventilación mínima tiene como objetivo introducir la mínima cantidad de aire fresco. Con el aire, se busca permitir extraer el exceso de humedad y amoníaco cuando las aves están pequeñas, sin enfriarlas.

El otro tipo es el método conocido como sistema de ventilación por túnel (Figura 2.6). El diseño de los galpones permite colocar las cortinas a diferentes alturas, según las necesidades de ventilación. En cuanto aumentan las necesidades de ventilación, se levantan las cortinas, creando un túnel; mientras en la entrada del túnel las cortinas se dejan en la posición inferior, sirviendo como entrada de aire (Figura 2.5). Una vez que las cortinas se encuentran en posición adecuada, los extractores se activan y el aire es forzado a moverse a lo largo del galpón mientras se renueva el aire por presión negativa.

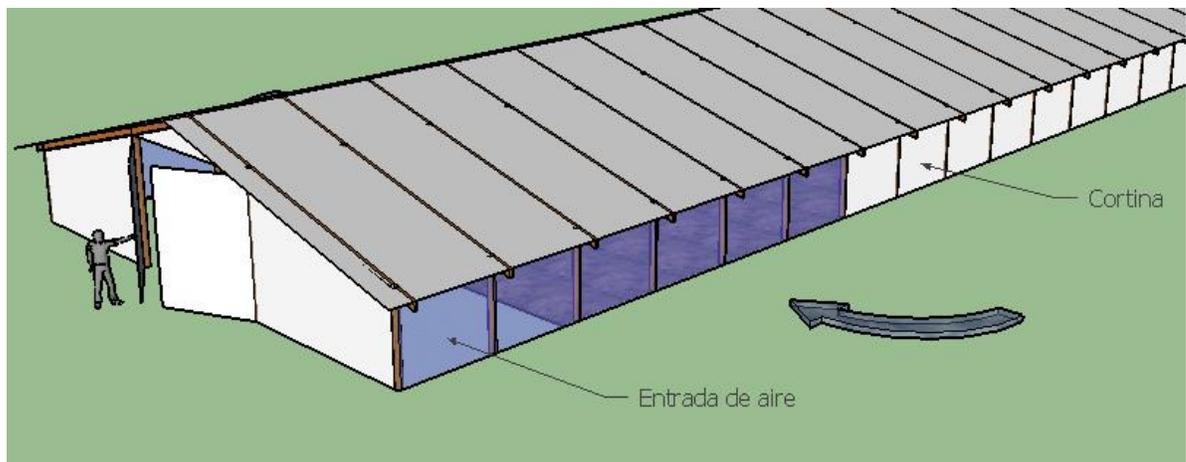


Figura 2.5 Posición de cortinas para un galpón ventilado por túnel

Fuente: Elaboración propia utilizando SketchUp pro 2015..

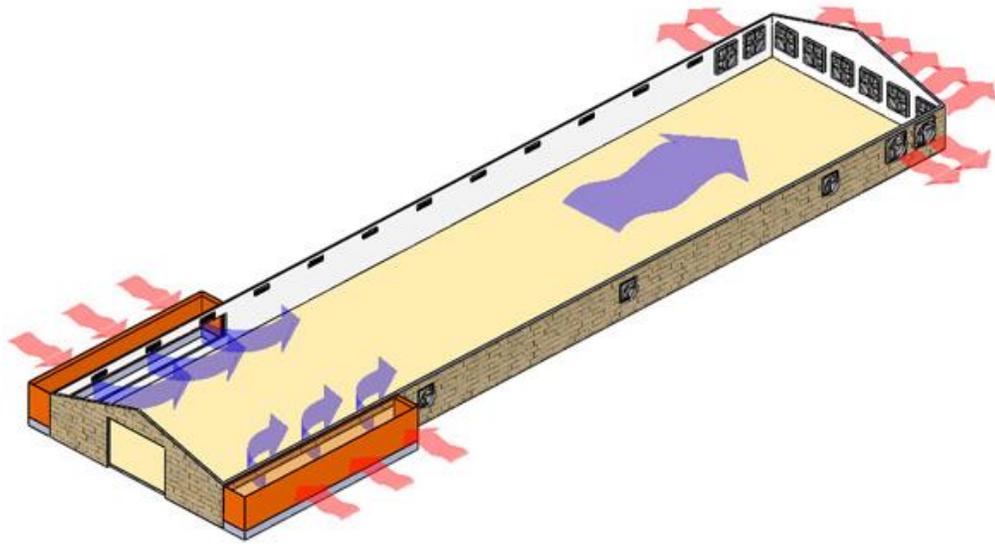


Figura 2.6 Principio de Ventilación por túnel.

Fuente: García, 2014

Para un enfriamiento con viento más efectivo se requiere una velocidad mayor a 2,54 m/s (500 fpm). Se debe tomar en cuenta que a mayor velocidad de aire se crea un efecto de sensación térmica en el pollo, reduciendo la temperatura efectiva que sienten hasta en 5-6°C. La Figura 2.7 muestra las temperaturas estimadas resultantes de diferentes velocidades del aire, para aves de 4 y 7 semanas de edad (Aviagen, 2009).

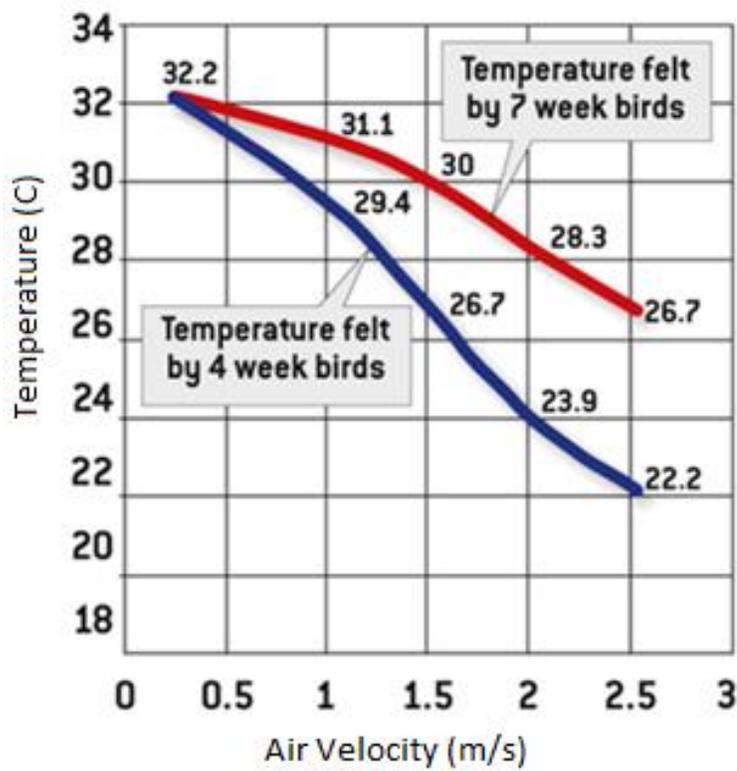


Figura 2.7 Sensación térmica de las aves a diferentes velocidades de aire.

Fuente: García, 2014

Como complemento a la ventilación por túnel, se suele instalar enfriamiento evaporativo. Consiste en boquillas nebulizadoras montadas en una posición alta; estas crean una nube que absorbe calor del aire, mientras es expulsada del galpón por los extractores.

3 METODOLOGÍA

La auditoría energética en la granja avícola Los Alpes se realiza de acuerdo a los procedimientos establecidos por ASHRAE (2004) para auditoría energética nivel II. Se consideran las etapas: recolección y análisis de uso histórico de la energía, descripción y análisis de sistemas que consumen energía, análisis y selección de oportunidades de conservación de energía.

3.1 Recolección y análisis de uso histórico de la energía

Primero, por medio de reuniones con los socios dueños de la empresa, se definirá la política energética con el fin de exponer la clara intención de reducir el consumo energético. Además, mediante visitas a la granja y entrevistas a los colaboradores se caracteriza el proceso productivo, determinando la capacidad, las fuentes y formas de energía utilizadas, las condiciones del suministro de energía, la extensión y estado de las instalaciones, el registro histórico de consumo energético y sus costos asociados, y el análisis de prácticas de mantenimiento actuales.

3.2 Descripción y análisis de sistemas que consumen energía

3.2.1 Carga Eléctrica Instalada

Se realiza el diseño e implementación de una base de datos que permita registrar todos los equipos de consumo de energía en la granja, junto a sus datos nominales. Se crea una codificación que permita el acceso rápido y oportuno a los datos de cada equipo. Con esta información se procede a levantar un registro de la carga instalada en la granja. Se desarrolla diagramas unifilares que permitan visualizar la estructura energética de la granja.

3.2.2 Análisis de consumo energético

Se realiza el análisis de consumo energético y comportamiento de la carga en el tiempo por equipo. Con la información recopilada y cálculos realizados se determina el consumo energético por equipo o grupo de equipos.

Con esta información se determinan los equipos de uso significativo de energía en la granja. Los equipos críticos son analizados energéticamente, así se identifica su eficiencia y esperanza de vida. Con base en los consumos de energía determinados y la caracterización de la carga por equipo, galpón y granja, se determinan índices energéticos acordes a las necesidades y posibilidades de la granja.

3.3 Análisis y selección de oportunidades de conservación de energía

Como resultado de análisis ingenieril y económico, se determinan reparaciones necesarias, medidas de conservación de energía incluyendo su presupuesto de implementación, ahorro energético, económico y viabilidad. Además, se realiza una descripción del costo estimado de mediciones y rutinas de mantenimiento recomendadas para garantizar la efectividad de las medidas implementadas.

4 AUDITORIA ENERGÉTICA

4.1 Recolección y análisis de uso histórico de la energía

Según Chanto y Chanto (2004), para que la ejecución de un proyecto o programa de eficiencia energética trascienda de simples y aisladas actividades de ahorro, se requiere integrar adecuadamente la necesidad de hacer un uso eficiente de la energía en la cultura de la empresa y una organización adecuada que cuente con el apoyo decidido de la alta gerencia. Cualquier gestión que busque administrar la energía en una empresa debe estar basada en una política empresarial que le dé forma, fuerza, que le brinde dirección y seguridad a largo plazo.

Con el fin de asegurar una base sólida para el proceso de mejorar la eficiencia energética en la granja, se determina la política energética empresarial:

La gerencia de la Granja Avícola Los Alpes reconoce que el uso racional y el consumo moderado de energía son factores clave para el desarrollo sostenible de la empresa y de la comunidad. Por esto, se compromete a cumplir con la legislación y reglamentaciones relativas a la eficiencia energética; controlar y evaluar en forma regular la información de desempeño energético; garantizar la capacitación, participación, información y comunicación del personal con el fin de que las actividades se realicen con un consumo responsable de los recursos energéticos.

Una vez definida la política energética, se inicia la descripción del consumo energético histórico presentado por la granja. Las dos fuentes de energía utilizadas en la granja son eléctrica suministrada por Coopelesca R.L. y térmica generada por gas propano. La Tabla 4.1 muestra los costos anuales de energía de los últimos dos años.

Tabla 4.1 Costos anuales de energía en la granja avícola Los Alpes

Energía	2013	2014
Acometida 1 (¢)	26 581 477,38	38 151 854,14
Acometida 2 (¢)	000 168 966,65	000 216 476,86
Total Eléctrica (¢)	26 750 444,03	38 368 331,00
Gas Propano (¢)	01 200 000,00	01 400 000,00
Total	27 850 444,03	39 768 331,00

Fuente: Elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

En la granja la electricidad es suministrada por medio de dos acometidas independientes, facturadas por tarifa general. La acometida 1, con número de abonado 153195, suministra energía a 59 extractores de 1,12 kW, 5 bombas de 0,37 kW, 15 comederos de 0,38 kW, iluminación y panel de control de los 5 galpones. La acometida 2, cuyo número de abonado es 108957, alimenta el área de oficina y 5 motores de 0,56 kW encargados de llenar los silos de cada galpón.

La granja presenta un consumo mensual de electricidad que oscila entre los 1 232,4 kWh y 31 802,60 kWh, implicando un costo mensual que varía entre ¢299 136,38 y ¢7 876 073,15. Las Figuras 4.1 y 4.2 muestran el consumo de energía eléctrica en kWh para las acometidas 1 y 2 respectivamente.

Es notable la variación del consumo energético mes a mes en las figuras mencionadas. Esta variación se debe al desarrollo característico de la parvada. Como se menciona en el apartado 1.6 “Descripción del Proceso productivo”, la parvada comprende una duración de 40 días, donde se da el mayor consumo energético; luego hay 20 días de trabajos de preparación en los galpones.

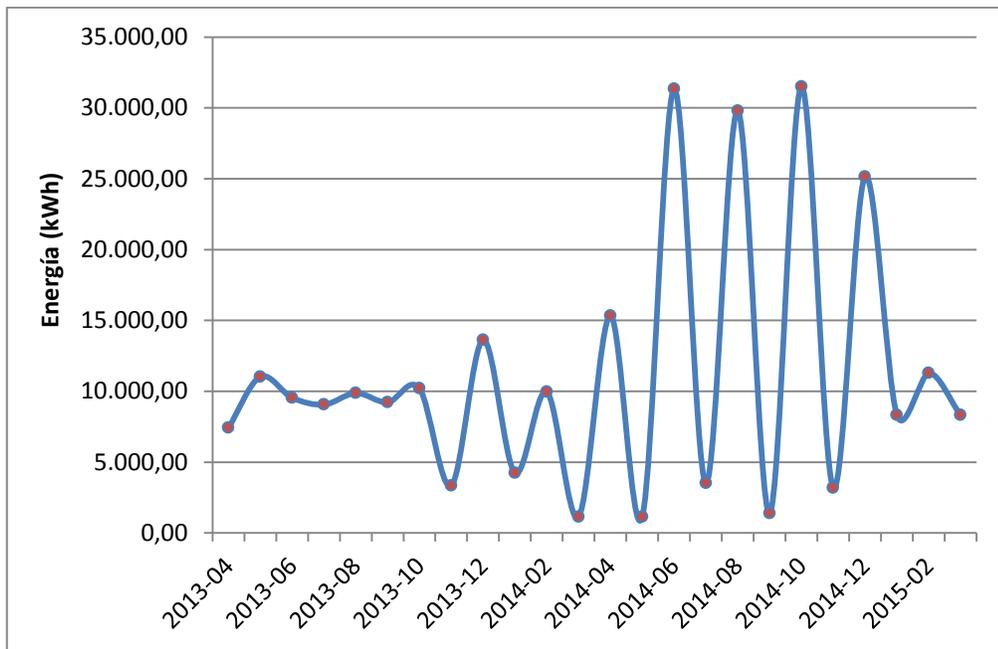


Figura 4.1 Curva de consumo de energía eléctrica (kWh) de la acometida 1 en el período de abril del 2013 a marzo del 2015

Fuente: Elaboración propia con datos de Coopelesca RL (2015) utilizando Microsoft Excel 2010.

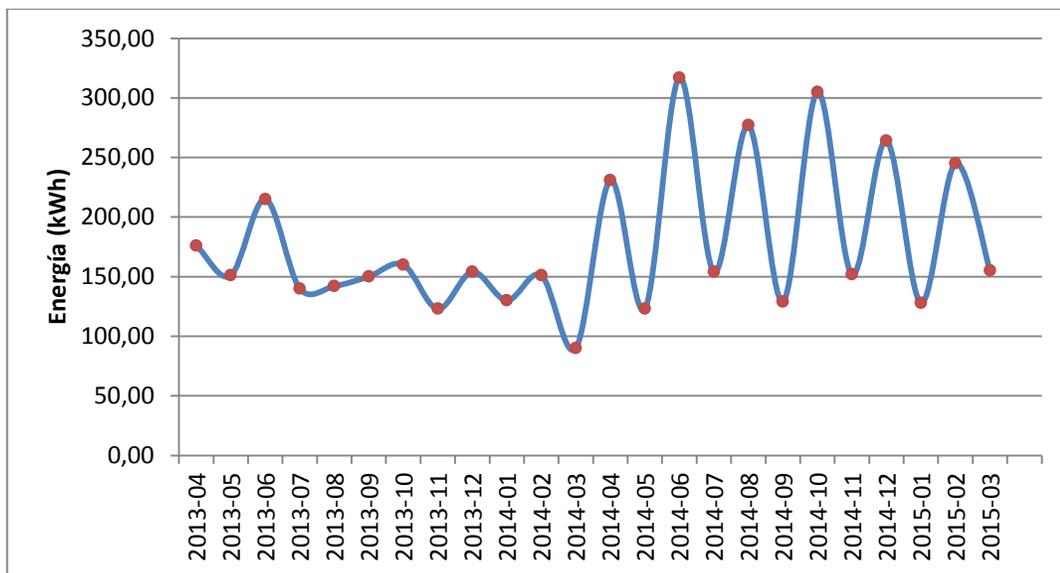


Figura 4.2 Curva de consumo de energía eléctrica (kWh) de la acometida 2 en el período de abril del 2013 a marzo del 2015

Fuente: Elaboración propia con datos de Coopelesca RL (2015) utilizando Microsoft Excel 2010.

Debido a que la facturación se realiza cada 30 días, un mes presentará un consumo alto y el siguiente un consumo bajo, dependiendo esta proporción del día de parvada donde inicie la facturación. Este factor impide el adecuado seguimiento del consumo energético presentado en una parvada, ya que las facturaciones incluyen el final de una parvada y el inicio de la siguiente. Para tener un promedio del consumo de energía durante una parvada, se puede sumar 2 meses consecutivos. Al analizar la facturación de mayo del 2014 (fecha donde inicia operaciones los galpones 4 y 5) a febrero del 2015, se determina que el consumo energético por parvada se acerca a los 30 000 kWh.

El rubro de cobro por potencia demandada lo realiza Coopelesca RL a los abonados con tarifa general que presente un consumo mayor a 3000 kWh. La Figura 4.3 muestra el pico de potencia registrada en las facturas para la acometida 1.

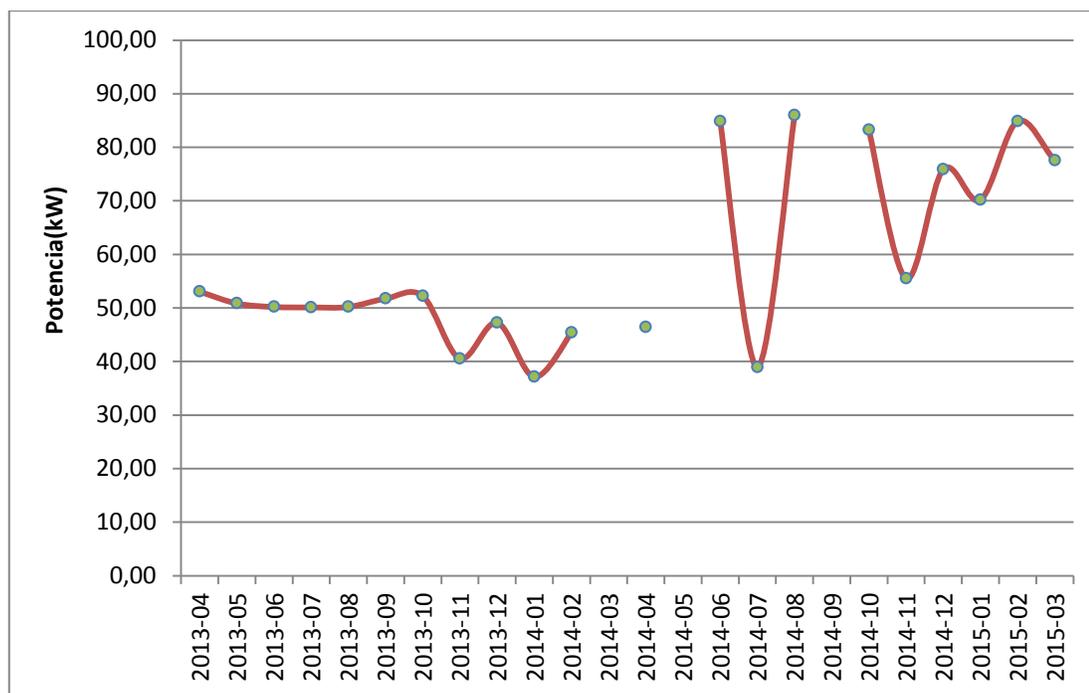


Figura 4.3 Curva de demanda (kW) de la acometida 1, período de abril del 2013 a marzo del 2015
Fuente: Elaboración propia con datos de Coopelesca RL (2015) en Microsoft Excel 2010.

Como se aprecia en la Figura 4.3, la potencia se mantiene en rangos elevados durante los diferentes meses. En los meses de marzo, mayo y setiembre del 2014 no hay cobro por potencia demandada, debido a que el consumo fue menor a las 3000 kWh.

Las Figuras 4.4 y 4.5 muestran el costo asociado al consumo energético en la granja avícola; en ellas el costo es desglosado en los rubros de cobro.

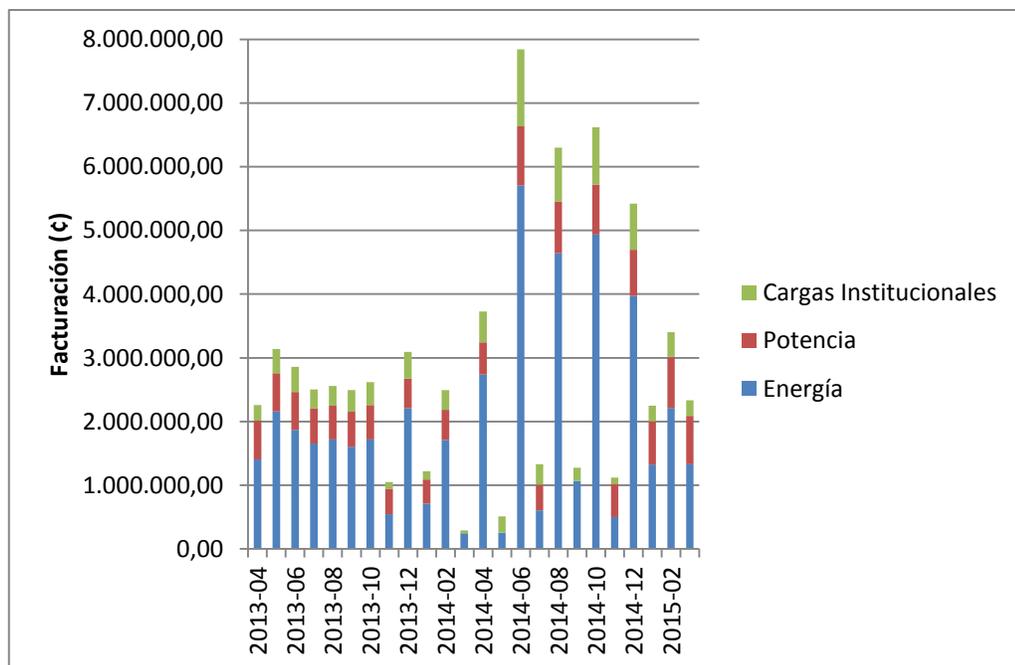


Figura 4.4 Facturación de servicio eléctrico (¢) en acometida 1, período abril, 2013 a marzo, 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos de Coopelesca RL (2015) con Microsoft Excel 2010.

Es notable como la energía consumida varía mes a mes; sin embargo, el rubro de cobro por potencia se encuentra en valores muy cercanos en la mayoría de los meses. Esta situación se debe a que no importa la distribución de la parvada en los dos meses que la constituyen -ya sea al inicio o al final de la parvada- es necesario encender los equipos; de este modo, se demanda la misma potencia cuando operan por 5 minutos como cuando se requieren en régimen constante.

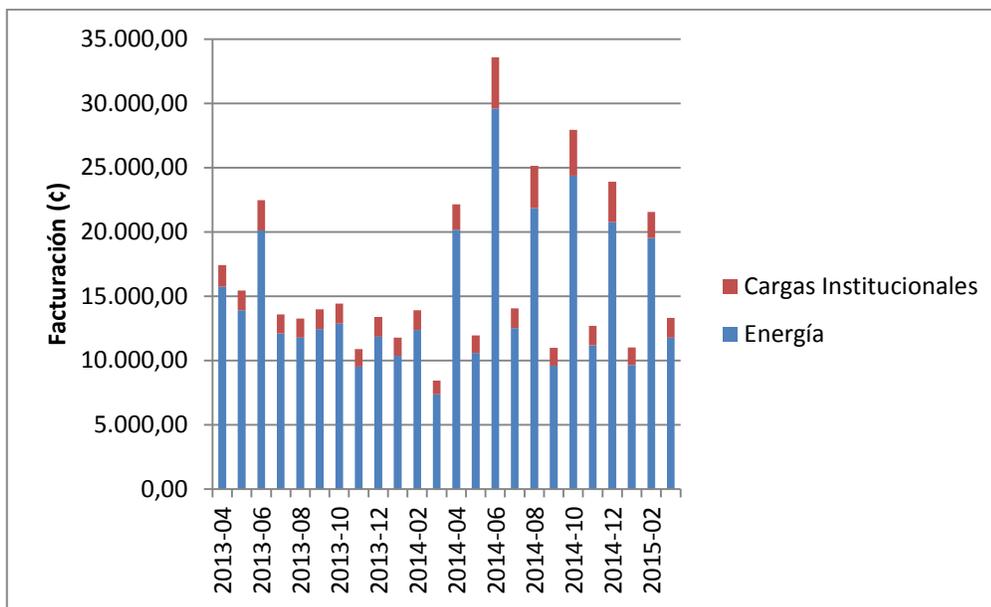


Figura 4.5 Costo de servicio eléctrico de la acometida 2 en el período de abril del 2013 a marzo del 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos de Coopelesca RL (2015) utilizando Microsoft Excel 2010.

Al comparar el consumo de ambas acometidas (Figuras 5.1 y 5.2), se observa que el consumo energético en la acometida 1 oscila entre 1 142,4 kWh y 31 497,6 kWh cuyos costos respectivos se encuentran entre ¢290 695,48 y ¢7 842 501,84. Mientras que en la acometida 2 el consumo varía entre 90 kWh y 317 kWh, cuyo costo asociado se encuentra entre ¢8 440,9 y ¢33 571,31.

Debido al bajo impacto que representa la acometida 2 en el consumo energético general de la planta (cerca al 2% del consumo total), el fuerte del análisis energético se realiza para la acometida 1. Se procura generar resultados significativos para el mejoramiento del uso de energía en la planta. En cuanto al tiempo de evaluación, se selecciona el periodo comprendido desde abril del 2014 a marzo del 2015, tomando en cuenta que esta es la época donde se incorpora el uso de los galpones 4 y 5, aumentando el consumo de energía y estableciendo el patrón de consumo actual.

Al realizar el recorrido y reconocimiento de las instalaciones de la granja, se determina que el sellado y aislante de los galpones 1, 2 y 3 se encuentran en mal estado por lo que no está cumpliendo su función. El sellado no es adecuado, generando múltiples entradas de aire por todo el galpón, lo que baja la eficiencia del sistema de ventilación tipo túnel. En cuanto al aislante Prodex ADP de 5mm, se evidencia la necesidad de su cambio total para los galpones 1,2 y 3: la Figura 4.6 muestra el estado del aislante.



Figura 4.6 Estado del aislante en galpones 1,2 y 3 de la granja.

Fuente: fotografía propia

Según Shah (2009), un adecuado aislamiento reduce pérdidas de calor durante las etapas iniciales de las aves, cuando es necesario calentar el espacio; de igual manera, representa una disminución en la energía necesaria para la ventilación al evitar la radiación incidente durante el día. En el Apéndice 9.11 se calcula el aumento de temperatura en los galpones 1, 2 y 3 durante el tiempo de cambio de aire; este aumento representó 2,89 °C en el galpón 3 y 3,40 °C en el 1. Dado que los galpones

están programados para encender un extractor (con potencia de 1,12 kW), por cada medio grado en que se exceda la temperatura óptima, este aumento representa entre 5 y 6 extractores más por galpón.

En cuanto a la acometida principal, consta de 2 cables AWG 2/0 por cada línea, soportando 500 A, que representa un factor de seguridad de 1,4 con respecto al pico máximo registrado desde el inicio de operaciones del plantel. La línea 1, que sale de la transferencia manual 1, tiene un problema de conexión, que genera un sobrecalentamiento en la misma; las temperaturas alcanzadas incluso llegan a derretir parcialmente la cinta aislante. Este problema presenta un alto peligro para la granja, ya que en cualquier momento puede fallar. La Figura 4.7 muestra dicha conexión; se evidencia el desgaste de la cinta aislante debido al calor.

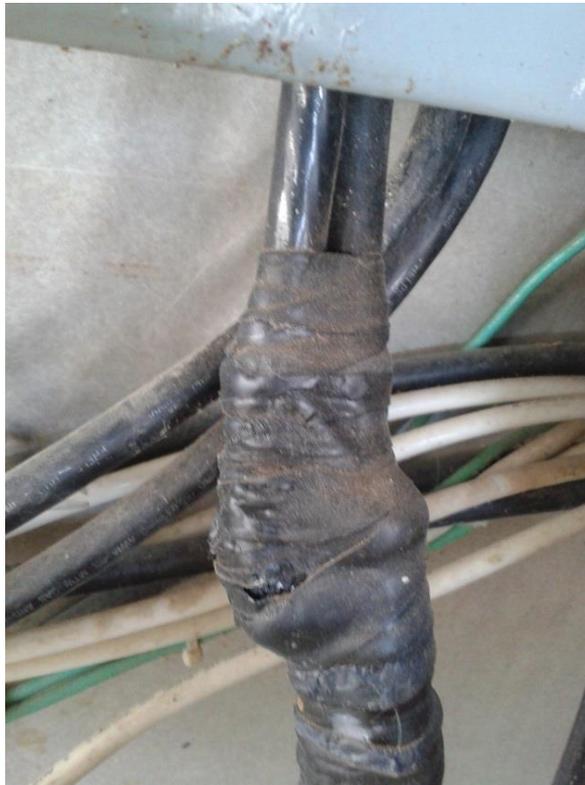


Figura 4.7 Estado de conexión en transferencia manual 1

Fuente: fotografía propia

En cuanto a las prácticas de mantenimiento que se realizan a los equipos en la granja, se determina que estas son de carácter correctivo sin registro alguno. No existe ningún tipo de seguimiento en los equipos y sus características operacionales. Básicamente si un equipo se daña, este se repara y se continua con el trabajo.

En lo que respecta a la energía térmica, se utiliza durante los primeros días de desarrollo del pollo, con el fin de mantenerlos en su zona de confort térmica. Debido a que representa menos del 3% de la energía consumida en la granja y no existe documentación de las compras realizadas, se recomienda iniciar un registro que permita analizar en un futuro este factor; además, se determina que para la presente auditoría el análisis de demanda energética de la granja se limita al sector eléctrico.

4.2 Descripción y análisis de sistemas que consumen energía

4.2.1 Carga Eléctrica Instalada

Para determinar los activos y la carga instalada en la granja avícola, se inicia con la creación de un código que permita identificar, almacenar y ordenar adecuadamente los datos a recopilar. Según Partida (2012) la codificación permite una documentación ágil y funge como un excelente punto de partida para la implementación de futuras mejoras en la planta, como un sistema de gestión de mantenimiento; esto permite el adecuado registro de historial de mantenimiento, repuestos, costos y documentación asociados.

El código establecido consta de 4 dígitos. La Tabla 4.2 muestra su interpretación y la Tabla 4.3, las representaciones asignadas a cada equipo. Además, la Figura 4.8 muestra ejemplos de los equipos en la granja que deberán recibir un código.

Tabla 4.2. Valores asignados a los dígitos de la codificación desarrollada

Símbolo	Valor
G	Galpón
E	Equipo
NN	Consecutivo de Numeración

Fuente: Elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

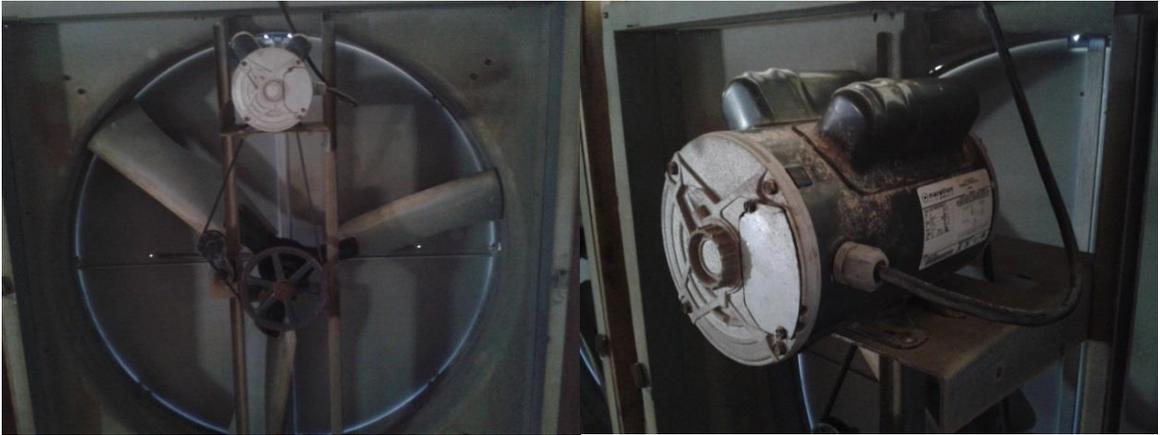
Tabla 4.3 Representación asignada a los equipos electromecánicos de la granja.

Equipo	Símbolo
Comedero	C
Extractor	E
Bomba	B
Silo	X
Planta de Emergencia	P

Fuente: Elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.



a. Comedero. General Electric monofásico de 0,38 kW



b. Extractor. Marathon Electric monofásico de 1,12 kW



c. Bomba Sta Rite monofásico de 0,37 kW



d. Silo Marathon Electric monofásico de 0,56 kW



e. Planta de emergencia Caterpillar D333 de 125 kW

Figura 4.8 Tipos de equipos de la granja.

Fuente: fotografías propias

Los 5 galpones, se representan con números de 1 al 5, y el área de oficina es representada por el número 0. Así, por ejemplo, el equipo 1C02 corresponde al motor que alimenta a la línea 2 en el galpón 1. Y el equipo 4E09 sería el extractor número 9 del galpón 4.

Una vez con el código preparado se procede a crear una base de datos que permita el adecuado registro de los datos de placa de los equipos, para realizar el levantamiento de carga instalada por cada galpón en la granja. La Figura 4.9 muestra la interfaz de la base de datos para ingresar equipos al sistema

EQUIPO

EQUIPO

Corriente (A)

Voltaje (V)

Potencia (HP)

Factor de servicio

Factor de utilizacion

Marca

Modelo

Serie

Año instalacion

Numero de Galpon

<mailto:albertopb89@gmail.com>

Figura 4.9 Interfaz de ingreso de equipo a la base de datos.

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Access 2010.

Introducidos los equipos de cada galpón y sus características en la base de datos, se procede a determinar la carga instalada en cada galpón y la carga total instalada en la granja. La tabla 4.4 muestra la carga instalada en el galpón 1 por acometida, y el porcentaje que representa cada grupo de equipos. El detalle de carga instalada en los galpones se encuentra en el Apéndice 9.2.

Tabla 4.4 Carga eléctrica instalada en el galpón 1

Acometida	Equipo	Cantidad	Carga (kW)	Carga Total (kW)	Porcentaje
1	Extractores	11	1,49	16,37	73,81
1	Comederos	3	0,68	2,04	9,63
1	Bomba	1	1,49	1,49	6,71
1	Iluminación	48	0,02	1,73	3,90
2	Silo	1	1,32	1,32	5,95
Total				22,18	100,00

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Una vez determinada la carga instalada en los galpones y oficinas, se determina la carga instalada total en la granja. La tabla 4.5 muestra el resumen general de la carga instalada por galpón y acometida en kW.

Tabla 4.5 Carga eléctrica instalada en la granja por galpón

Galpón	Acometida 1 (kW)	Acometida 2 (kW)	Carga Instalada (kW)
0	0	15,048	15,048
1	24,102	8,542	32,644
2	23,934	8,542	32,476
3	23,838	8,542	32,38
4	38,2248	10,6032	48,828
5	38,418	10,6032	49,0212
Total	148,5168	46,8324	195,3492

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Una vez recopilados los datos de carga instalada, se procede a determinar el porcentaje que representa cada tipo de equipo en la potencia instalada en la granja. Esta distribución es representada en la Figura 4.10.

Con los datos recolectados se construye el diagrama unifilar de la granja expuesto en la Figura 4.11. El diagrama unifilar y el detalle de los tableros generales en cada galpón se encuentran en el Apéndice 9.3.

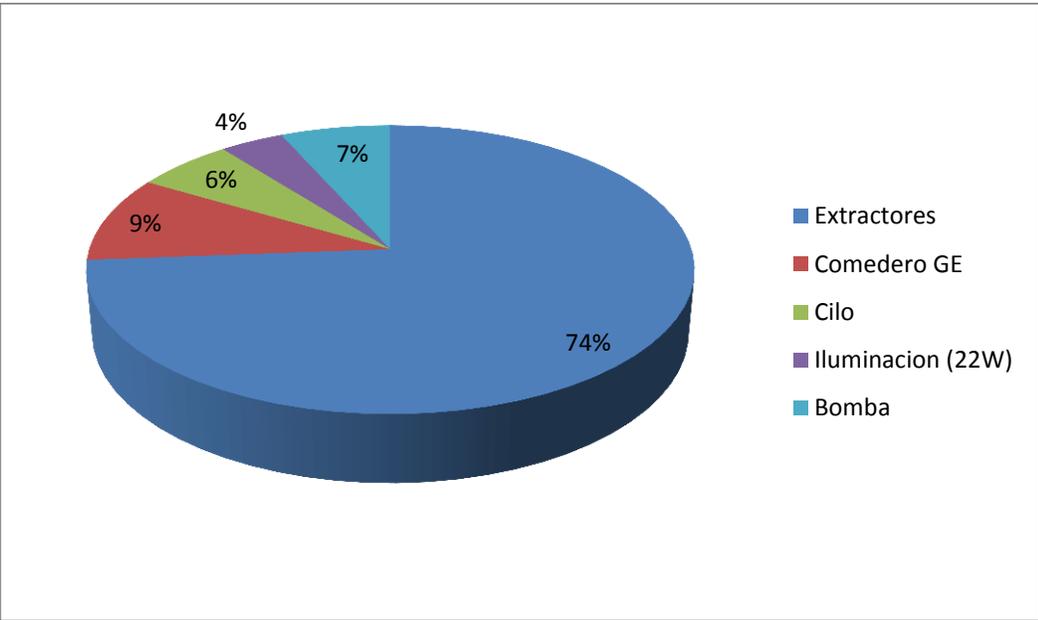
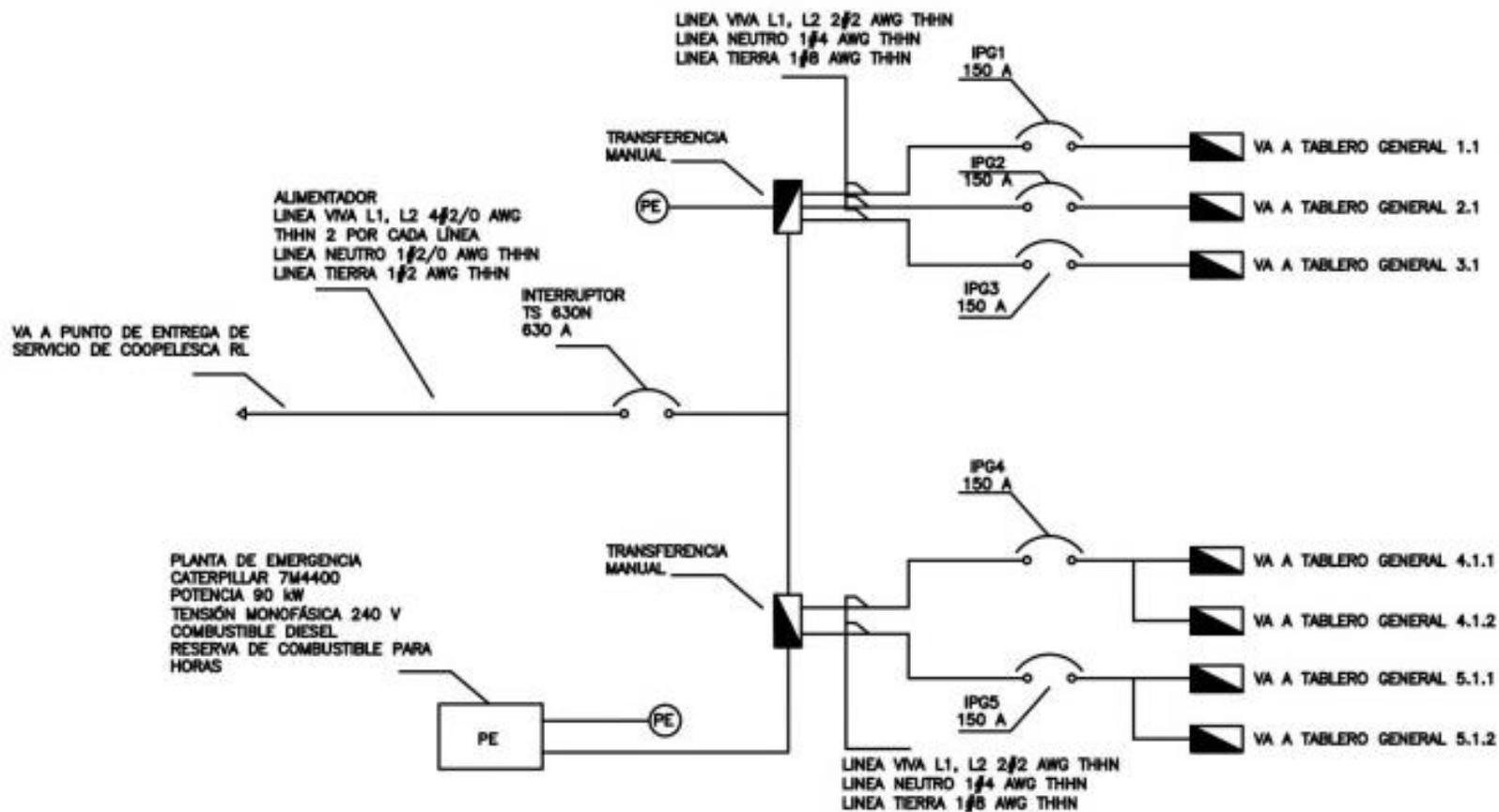


Figura 4.10 Distribución de la carga instalada en la granja por tipo de equipo.

Fuente: elaboración propia, Microsoft Excel 2010.



a. Diagrama Unifilar de acometida 1, medidor 153195

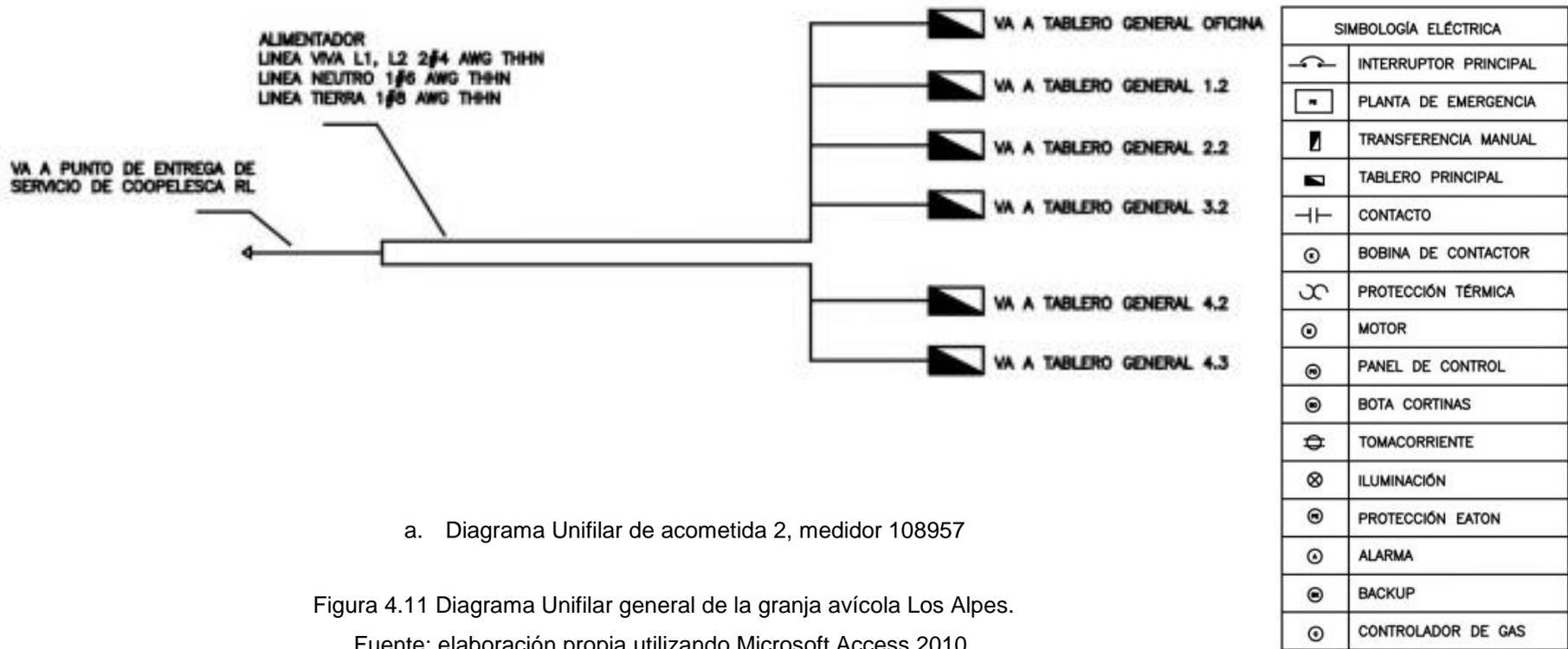


Figura 4.11 Diagrama Unifilar general de la granja avícola Los Alpes.

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Access 2010.

4.2.2 Análisis de consumo energético

La acometida 1 representa alrededor del 98% de la energía que es consumida en la granja. Como lo muestra la Figura 4.1 su consumo energético varía en gran medida de mes a mes. Desde el inicio de operación de los galpones 4 y 5 en el mes de mayo del 2014, se tiene el mismo patrón de consumo.

Con el fin de caracterizar el consumo general de energía durante el avance del proceso de crecimiento de la parvada, se solicitó a Coopelesca RL el detalle diario de consumo energético para la acometida 1. El tipo de medidor instalado no estaba configurado para guardar registro, por lo que se solicita la configuración para que se registre el consumo realizado en la granja cada 15 minutos. La recolección de datos inicia el día 22 de febrero y finaliza el 13 de abril del 2015, comprendiendo un período de 51 días.

Para el período analizado, la llegada del pollo a las granjas se da entre los días 27 de febrero y 2 de marzo del 2015. Estos son los días en los que se registra el inicio de consumo energético en la granja.

La Figura 4.12 muestra el consumo de energía para los 50 días evaluados. Se puede apreciar cómo el consumo aumenta gradualmente durante los primeros 7 días, manteniéndose por debajo de los 200 kWh. Después de la primera semana, el consumo aumenta a una tasa mayor, alcanzando los mayores valores alrededor del día 30; este consumo se verá reducido hasta que se realicen raleos en las granjas

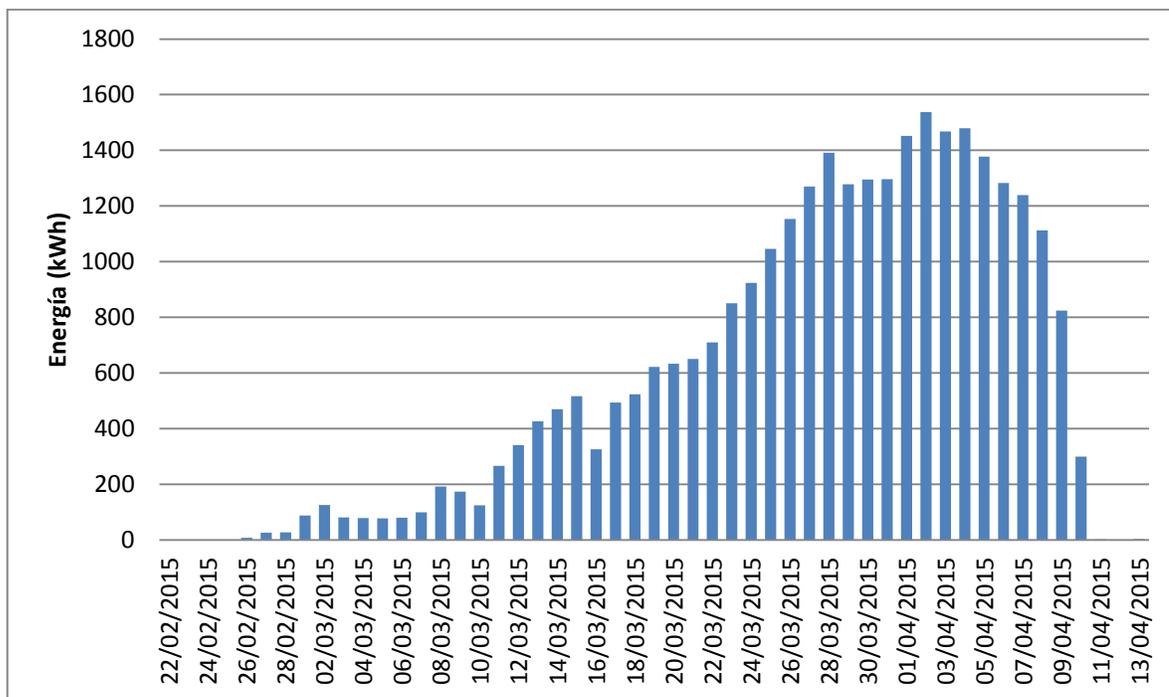


Figura 4.12 Consumo energético diario (kWh) de la acometida 1 durante una parvada, del día 27 de febrero al 10 de abril del 2015.

Fuente: elaboración propia con datos de Coopelesca RL (2015) utilizando Microsoft Excel 2010.

En la Figura 4.12 se muestra la relación existente entre los días de desarrollo del pollo y la energía demandada. Esta situación se debe a que el calor diario a extraer aumenta conforme avanza el desarrollo de las aves; en primera instancia los pollos se encuentran generando masa en grandes proporciones. Según un documento publicado por Aviagen (2009) los pollos generan 3,22 watts por cada kilogramo de masa (11 BTU/h); a este aumento de la temperatura en el galpón debe sumarse el hecho que conforme el pollo crece la temperatura a la que se encuentra en su zona de confort disminuye. De esta manera, cada día es necesaria una mayor ventilación para extraer adecuadamente el calor generado y lograr que las aves se sientan en su zona de confort para que sigan creciendo a la mejor tasa posible. Se muestra en el Apéndice 9.13 que los últimos 10 días del desarrollo de las aves la granja demanda el 50% de la energía requerida durante todo el proceso; el otro 50% se distribuye durante los primeros 30 días.

El comportamiento de la potencia demandada por día presenta un patrón similar al del consumo energético (Figura 4.13). Este básicamente depende de la temperatura alcanzada en el galpón, y por consiguiente cuantos extractores fueron encendidos ese día (la curva de temperatura óptima según el día de desarrollo del pollo se encuentra en Apéndice 9.4).

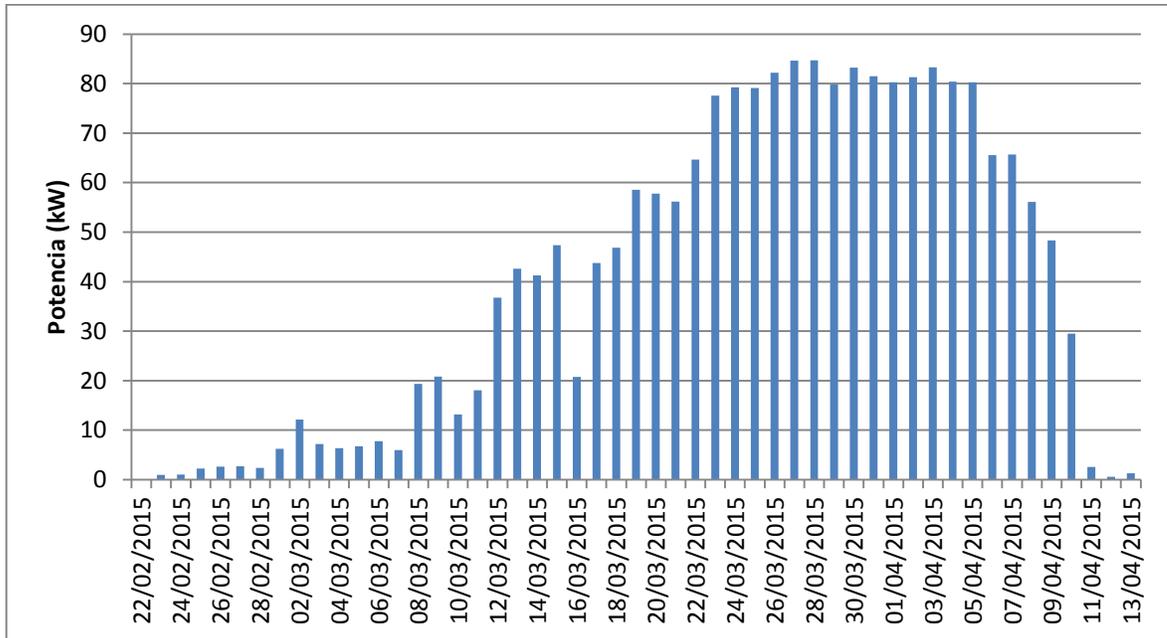


Figura 4.13 Registro de comportamiento diario de la demanda en kW de la acometida 1, durante la parvada con día de ingreso 27 de febrero y salida 10 de abril del 2015.

Fuente: elaboración propia con datos de Copelesca RL(2015) utilizando Microsoft Excel 2010.

El 27 de febrero se presentó el día de mayor demanda de potencia de toda la parvada; la Figura 4.14 muestra el comportamiento horario de la demanda en este día. El comportamiento de consumo claramente refleja las necesidades de ventilación. Conforme aumenta la radiación solar durante el día, aumenta la cantidad de extractores encendidos.

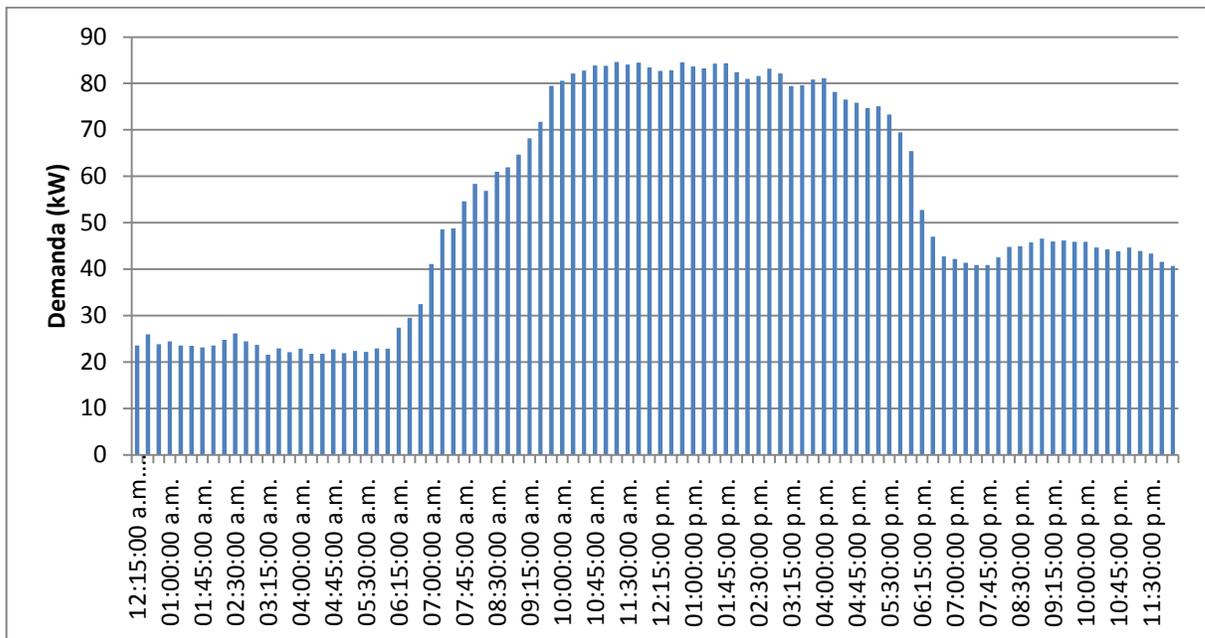


Figura 4.14 Registro de comportamiento horario de la demanda en kW de la acometida 1 durante el día 27 de marzo del 2015.

Fuente: elaboración propia con datos de Coopelesca RL (2015) utilizando Microsoft Excel 2010.

Como lo refleja claramente el comportamiento de demanda y consumo energético, la ventilación es la actividad que representa el mayor uso significativo de la energía en la granja. Se comprueba así lo determinado por McGahan *et al.* (2014), quienes expresan que la ventilación es el mayor consumidor de energía en las granjas ventiladas por túnel, representando entre el 68 y 88% del total de energía consumida en un galpón. Al analizar las horas estimadas de uso de equipo por parvada, se determina el porcentaje que representa cada equipo en el uso de la energía; este se representa en la Figura 4.15.

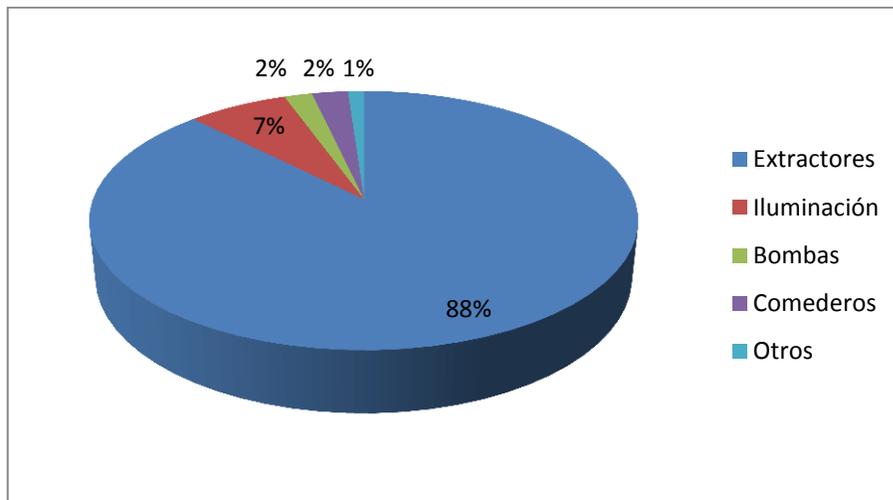


Figura 4.15 Distribución del consumo energético por tipo de equipo durante una parvada.

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Debido al elevado porcentaje que representa la ventilación en el uso energético, se realiza un diagnóstico para determinar el desempeño de los extractores en la granja. La metodología utilizada para diagnosticar energéticamente los motores se detalla en el Apéndice 9.1. La Figura 4.16 muestra un extractor y el estado en que se encuentran debido a las condiciones ambientales.



Figura 4.16 Extractor Marathon Electric monofásico de 1,12 kW y detalle de sistema tensor.

Fuente: fotografías propias

Considerando que los galpones 1, 2 y 3 iniciaron labores en diciembre del año 2008, mientras los galpones 4 y 5 iniciaron en mayo del 2014, y teniendo en cuenta que los extractores en cada galpón presentan horas de trabajo diferentes según su ubicación espacial (como lo muestra la Figura 4.17), los extractores 1, 2 y 3 son los motores que han trabajado mayor cantidad de horas desde su instalación. Se procedió a evaluar motores que permitieran un análisis comparativo entre el consumo y el estado de desgaste.

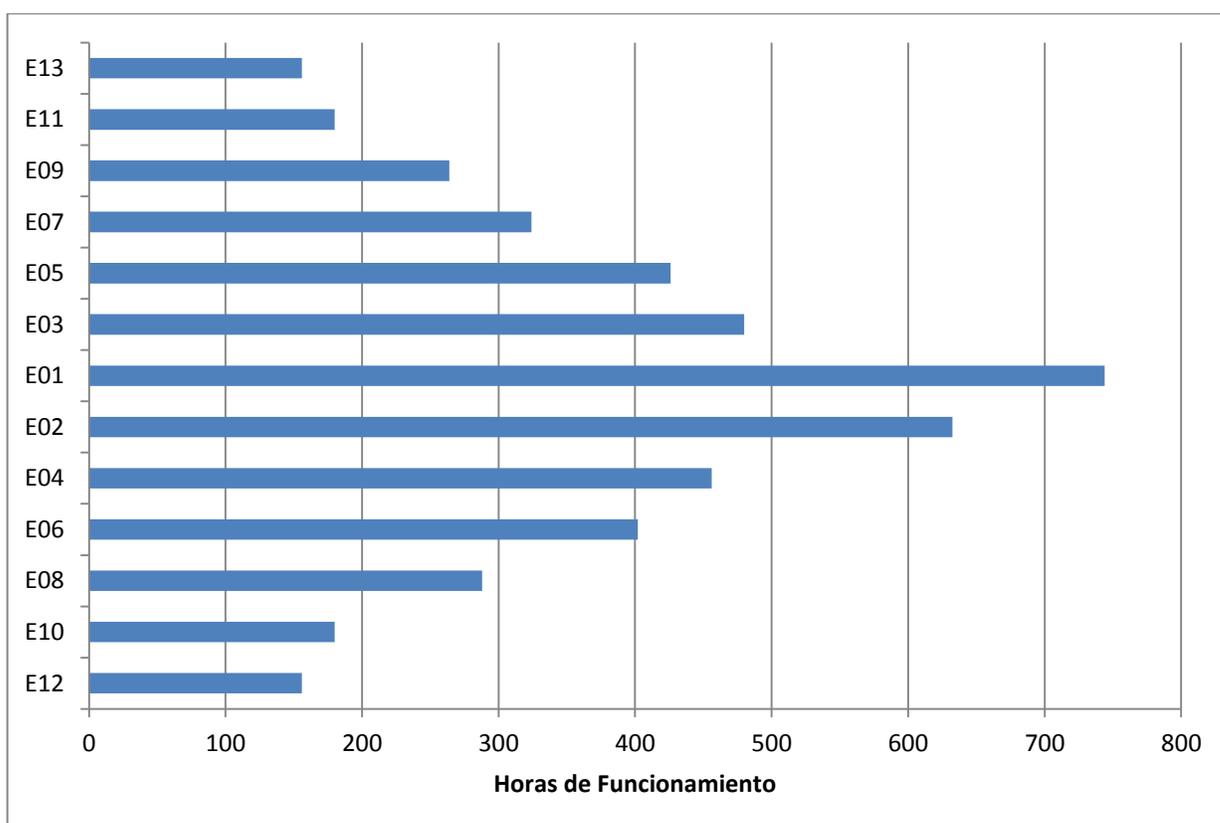


Figura 4.17 Horas de funcionamiento de extractores por parvada y posición.

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tabla 4.6 Diagnóstico Energético de los extractores evaluados

Extractor	Corriente de Arranque (A)	Tiempo de Arranque (s)	Corriente (A)	Porcentaje de Deslizamiento
1E01	52	1,24	4,52	10,80
1E02	52	1,36	4,58	9,50
1E03			4,47	12,56
1E07	52	0,52	4,05	13,10
1E10	52	0,92	3,9	12,38
2E01	52	0,8	4,24	10,70
2E02			4,03	12,75
2E03	56	1,12	4,09	12,12
2E08	48	0,96	4,44	11,63
3E01			4,8	4,30
3E02	44	2,44	5,11	3,67
3E03			4,84	6,80
3E06	60	5,52	4,9	5,78
3E10	52	0,24	3,46	24,90
4E01			5,11	2,18
4E02			5,29	2,62
4E10	46	1,84	5,34	1,72
4E12	48	2,32	5,56	1,58
4E13	50	1,96	5,33	2,14
5E01			5,32	2,11
5E02			5,07	1,44
5E03			4,96	1,85

Microsoft Excel 2010. Fuente: Paniagua, J. 2015

La Tabla 4.6 muestra los resultados obtenidos en los diferentes extractores evaluados. El primer punto a analizar es la calidad de alimentación. El sistema de poder determina la calidad del voltaje; y la carga, la calidad de la corriente. El voltaje en la granja, cuando todos los extractores se encuentran encendidos es de 244,8 V (Figura A9.9.2, ubicada en el apéndice 9.9), lo cual representa una desviación de 6,43% con respecto a su voltaje nominal (230 V), y es menor a la tolerancia máxima de 10% estimada por la Fundación Red de Energía BUN-CA (2011). El aumento en el voltaje de alimentación implica un aumento en el par de arranque, pues este es

proporcional al cuadrado del voltaje; también implica un aumento en la corriente de arranque, disminución en el deslizamiento y en eficiencia (McKinnon, 2007).

Según Fraile (2008) la corriente de arranque oscila entre 5 y 7 veces la nominal, disminuye conforme el rotor alcanza mayor velocidad. La Figura 2.2a muestra el comportamiento general de los motores asíncronos, donde se puede observar el comportamiento antes descrito.

Los extractores analizados cuentan con motores de 1,12 kW de potencia, cuya corriente nominal es de 6,2 A. Las corrientes de arranque, como se muestra en la Tabla 4.6, se encuentran entre 44 y 60 A, representando entre 7 y 9 veces la corriente nominal. Estas elevadas corrientes de arranque, según McKinnon (2007), se deben a que los motores se están alimentando a una tensión mayor a la nominal, lo cual implica mayor consumo de corriente en el arranque y durante su operación.

Con respecto al tiempo de arranque, se puede notar una elevada variación en diferentes motores. El que presentó menor tiempo en alcanzar el régimen permanente fue el extractor 3E10 en 0,24 segundos, mientras el 3E06 fue el que requirió mayor tiempo con 5,52 s.

El arranque de los motores en los extractores es de tipo por condensador. Según entrevistas realizadas a operadores en la granja, se han cambiado capacitores en algunos motores; sin embargo, no existe registro de a qué motores y en que fechas se realizó el cambio. Los altos tiempos de arranque para algunos extractores muestran un deterioro en los capacitores. Una adecuada inspección del estado de los capacitores y el cambio respectivo lograría alcanzar el régimen permanente de los motores en tiempos adecuados y de manera eficiente.

La corriente y el deslizamiento son indicadores clave para entender el nivel de esfuerzo al cual está trabajando un motor. Se observa en la Figura 2.2b el comportamiento del torque de un motor de inducción respecto a la velocidad de giro.

El punto c representa el punto de torque máximo, y divide la curva en zona inestable a bajas revoluciones, y zona estable conforme más se acerca a su velocidad nominal (Fraile, 2008).

En la zona estable una pequeña disminución en velocidad es acompañada por un aumento fuerte del torque. Ahora bien, si el par motor es superior al par impuesto por la carga, se produce un momento resultante que genera una aceleración en el motor hasta lograr que ambos pares se igualen.

Al analizar las corrientes de consumo, se puede observar que ninguno de los motores evaluados alcanza la corriente nominal (Tabla 4.6), lo que quiere decir que la carga es baja y el motor debe girar a mayores revoluciones para alcanzar el equilibrio. Como lo muestra la Figura 2.2a conforme disminuye la corriente, disminuye el torque de motor y aumenta la velocidad, hasta alcanzarse una velocidad muy cercana a la de sincronismo.

Este resultado difiere a lo esperado por dos razones. En primera instancia, los extractores en los galpones 4 y 5, que son los que presentan menor cantidad de horas trabajadas, consumen más corriente que los más antiguos.

El segundo punto se debe al comportamiento de la carga. Una corriente menor a la nominal representa una carga baja, que genera un aumento de velocidad. Tomando en cuenta que la carga generada por un ventilador crece en función del cuadrado de la velocidad, presentando un comportamiento parabólico, como lo representa la figura 2.2b la curva c, donde el estado de equilibrio final se consigue en el punto B (Fraile, 2008). Básicamente si la carga es muy baja, el motor aumenta la velocidad, incrementando en gran medida la carga, lo que genera una desaceleración del motor y un aumento de la corriente.

La operación nominal del motor establece su deslizamiento en 4,16%. Al analizar los deslizamientos obtenidos para los extractores evaluados (Tabla 4.6), se observa

deslizamientos entre 1,5 y 2,7% para los extractores en los galpones 4 y 5, que también presentaron las corrientes más elevadas.

Este comportamiento puede explicarse debido a que las mediciones se realizaron con las cortinas de los galpones bajas, generando una menor presión estática. Cuando los galpones están en modo túnel, la presión estática aumenta; por esto, se incrementa la carga y consecuentemente se genera un incremento del deslizamiento y la corriente consumida (Brothers, Campbell, Donald y Simpson, 2014). Al analizar estos factores podemos inferir que los extractores de los galpones 4 y 5 se encuentran en un estado adecuado.

En cuanto a los galpones 1 y 2, se encuentran deslizamientos de 10 a 12%. Según Fraile, (2008) los motores clase A presentan un deslizamiento típico menor al 5 %. Un pequeño aumento del deslizamiento acerca en gran medida a la zona inestable del comportamiento del motor; si se excede este punto, el par motor será menor al par de la carga y el motor sería frenado. A esto debe sumársele el hecho de que deslizamientos elevados aumentan la corriente que consume el equipo, y la corriente medida es menor a la nominal. Por lo que los deslizamientos medidos físicamente no son posibles.

Debido a la disposición física de los extractores, no se realizó medición directa de la velocidad en el eje del motor y, para obtener la velocidad, se midió la velocidad de giro del ventilador. Además, con la relación de transformación en las poleas se calculó la velocidad del motor.

Tomando en cuenta el alto deslizamiento calculado y el bajo consumo de corriente, se determina que el sistema de transmisión de potencia se encuentra flojo. Esto genera un bajo torque de carga, lo que posibilita al motor girar a altas velocidades, al mismo tiempo que transmite un valor bajo de la potencia mecánica generada, que a su vez hace que el ventilador gire a bajas revoluciones.

En cuanto a los extractores 3E01, 3E02, 3E03 y 3E06, estos presentaron deslizamientos bajos y corrientes cercanas a las registradas en los galpones más nuevos. Este cambio respecto a sus homólogos en tiempo y trabajo se debe al mantenimiento realizado en chumaceras y tensoras; según entrevistas realizadas al encargado de la planta, hace aproximadamente un año algunos extractores de dicho galpón fallaron y se les realizó cambio de algunas partes. Se puede apreciar como el extractor 3E10 (que no recibió mantenimiento) presenta un deslizamiento elevado, al igual que los extractores en los otros galpones.

Como menciona Tabler *et al.* (2013): “Un ventilador es solo tan bueno, como su faja” (párr.6). Una faja de transmisión floja no puede girar las aspas a sus máximas revoluciones por minuto, generando así pérdidas de potencia y reduciendo la eficiencia del conjunto.

Según GREENHECK (2010), la relación que existe entre la velocidad de operación y el volumen de aire desplazado responde a la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}' = \left(\frac{n'}{n}\right) \dot{Q} \quad \text{EC 4.1}$$

Donde \dot{Q} es el flujo volumétrico y n la velocidad de giro.

Utilizando los datos nominal del extractor se calculó el flujo volumétrico que permite desplazar el extractor a presión ambiental (ya que las mediciones fueron realizadas con las cortinas en la posición inferior), con el fin de calcular el flujo de aire que desplazan los extractores evaluados que giran a velocidades diferentes (Apéndice 9.9). La tabla 4.7 muestra los valores promedio para cada galpón.

Tabla 4.7 Volumen desplazado y eficiencia de extractores.

Extractor	Velocidad (rpm)	Volumen (m ³)	Corriente (A)	Potencia (kW)	Costo/hora (¢)	Eficiencia (m ³ /s)/kW
1Ex	503,06	803,89	4,30	1032,96	82,64	12,97
2Ex	502,33	802,71	4,20	1008,00	80,64	13,27
3Ex	517,74	827,35	4,62	1109,28	88,74	12,43
4Ex	557,84	891,43	5,33	1278,24	102,26	11,62
5Ex	559,27	893,70	5,12	1228,00	98,24	12,13
Promedio	526,38	841,15	4,70	1128,11	90,25	12,43

Microsoft Excel 2010. Fuente: Paniagua, J. 2015

Como se puede observar, los galpones 4 y 5 presentan mayor velocidad de giro, lo que implica un mayor desplazamiento de volumen por segundo. No obstante, al analizar la eficiencia se observa que son los menos eficientes, moviendo menor volumen de aire por cada kilowatt consumido. Esto se debe a que al aumentar la velocidad se aumenta la presión estática, lo que incrementa la carga al motor, requiriendo mayor corriente (Brothers *et al.* 2014).

En la ventilación por túnel (Figura 2.6) se busca alcanzar velocidades de aire elevadas, cercanas a los 3 m/s, para generar así una alta presión negativa que ronda entre 19,93 Pa y 24,9174 Pa (0,1 in agua) (Czarick y Fairchild, 2010). Consecuentemente el motor se siente más forzado y es obligado a generar mayor torque; sin embargo, en los galpones 1, 2 y 3 donde la tensora no actúa correctamente, la potencia que es transmitida al ventilador no es suficiente para retirar el aire caliente y mantener las aves en su zona de confort térmico. El flujo trasegado por los extractores de los galpones 1 y 2 es 11% menor al del galpón 5, corroborando las predicciones realizadas por Shah (2009), sobre fajas de ventiladores que están flojas. Esta disminución de volumen obliga encender el siguiente extractor para poder solventar el aumento de temperatura en el galpón. Si el sistema de transmisión de potencia se encuentra ajustado, permite que el ventilador gire a las máximas revoluciones posibles y aumenta la velocidad del aire. Y aunque la corriente demandada también aumenta, la potencia consumida es menor a la requerida por dos extractores.

Este problema se ve aumentado al llegar el día 30 de la parvada. Para esta etapa del proceso se requieren todos los extractores funcionando la mayor parte del día. Aún así, en ocasiones no logran alcanzar la zona de confort térmica de las aves, y se genera estrés en los pollos, lo que afecta su tasa de ganancia de masa (Blakely, 2008).

El buen funcionamiento de la tensora en el conjunto, así como el buen estado de la faja, no solo retrasaría la entrada de los extractores siguientes, sino que también lograría mantener por un tiempo mayor el pollo en su zona de confort. Esto aseguraría una mayor tasa de conversión.

Otro factor determinante en la eficiencia del conjunto de ventilación son los cojinetes (Tabler, Wells y Yakout, 2013). Los cojinetes que presenta el motor son 6304-2RSC3 y 6203-2RS; están sometidos a una carga que representa el 3% de su carga nominal; esta robusta selección permite una vida infinita para los cojinetes. En cuanto a las chumaceras UCP 205-16, su carga representa el 9% de la carga nominal; de este modo se genera una esperanza de vida de 10 años en los extractores de mayor uso (en el Apéndice 9.10 se muestra los cálculos realizados para determinar la vida de los cojinetes).

Sin embargo, varios rodamientos han fallado, por lo cual ha sido necesario el desarme del motor para su reemplazo. Los cojinetes están sometidos a esfuerzos de compresión cíclicos que causan fatiga y su eventual falla. La vida efectiva se define normalmente como la cantidad de revoluciones que puede girar un cojinete antes de fallar (NTN, 2014). Empero, debido a que la faja se encuentra floja, durante las revoluciones el cojinete recibe fuerzas fluctuantes, estos impulsos causan un desgaste acelerado en el cojinete.

Otro factor que debe tomarse en cuenta es la lubricación. Con el fin de evitar fallos prematuros, desgaste y paros de equipos, debe administrarse a los rodamientos grasa en cantidad y tiempo adecuados (SKF, 2010). Una lubricación inadecuada

implica pérdidas de potencia por fricción, disminuye la eficiencia y acorta la vida útil de los mismos.

Según SKF group (2010) la grasa grado NLGI 2, utilizado en los cojinetes y a la velocidad nominal del motor, tiene una esperanza de vida de 21 000 h. La grasa tiene tiempo de vida útil, bajo la influencia del tiempo, temperatura, trabajo mecánico y contaminantes se ve deteriorada y gradualmente pierde sus propiedades lubricantes.

Tomando en cuenta que los extractores del 1 al 6 son los que trabajan durante mayor cantidad de horas por parvada (Apéndice 9.6), la vida de la grasa se alcanza a los 4 años y medio para el extractor 1 mientras el extractor 11 a los 21 años. Se recomienda un plan cíclico de 6 años, que al cumplir el primer año de uso se intercambie la posición de los extractores del 1 al 6, por los del 7 al 11; al segundo año se realiza el intercambio pertinente. Al cumplir el tercer ciclo, se recomienda analizar una muestra de extractores por galpón para determinar el estado de los cojinetes.

En cuanto a las chumaceras, se recomienda continuar con el proceso actual, de engrasar después de cada parvada. Esta recomendación se debe a la alta contaminación a la que están expuestas, el agua y disolventes a la que se expone en el proceso de lavado durante la preparación del galpón

Otro factor que afecta la eficiencia de la ventilación es el exceso de calor ingresando al galpón debido al mal estado del aislante en los galpones 1, 2 y 3 (Figura 4.6). Un aislamiento adecuado permite retener el calor durante más tiempo en los primeros días de desarrollo de las aves, y reduce el calor que ingresa al galpón debido a la radiación solar. La diferencia que representa el aislante en la temperatura del galpón un día con temperatura ambiental de 23,8 °C es 3°C. Tomando en cuenta que los extractores están programados para entrar en operación por cada medio grado que

se exceda la temperatura óptima, este aumento representa el funcionamiento de 6 extractores más durante las horas de mayor radiación.

La ventilación es un punto imprescindible en el adecuado manejo de los pollos de engorde. Si la ventilación falla, los bota cortinas deben accionarse en menos de 2 minutos; un fallo en la ventilación por más de 5 minutos implica altas tasas de mortalidad, que aumentan vertiginosamente conforme aumente el tiempo (Tabler *et al.*, 2013). Debido al alto control ambiental requerido en el galpón, se hace notoria la necesidad de sistemas de respaldo que actúen en caso de falla (Aviagen2009).

Al analizar la planta de emergencia instalada en la granja, se encuentra con que es una planta trifásica. Sin embargo, la carga completa de la granja está conectada solo a dos fases, como lo muestra la Figura 4.18 donde se aprecian los cables de dos fases y el neutro. Esta conexión genera un fuerte desbalance para el generador, que provoca altos esfuerzos en la máquina y acelera su desgaste. Es necesario cambiar la instalación actual de la planta de emergencia balanceando adecuadamente las cargas, disminuyendo su acelerado desgaste y asegurando que el generador funcione de manera eficiente.



Figura 4.18 Planta de emergencia Caterpillar D333 de 125 kW.

Fuente: fotografía propia.

Se realizó una medición del comportamiento de la planta encendiendo los extractores en los 5 galpones uno a uno. Como se muestra en la Figura 4.19 el voltaje se mostró poco estable, rondando entre 191 y 197 V, lo cual es mucho menor al voltaje de alimentación de la red. El bajo voltaje repercute en el comportamiento de los motores disminuyendo su torque disponible, aumenta su deslizamiento e incrementa la corriente. El voltaje nominal de la planta es de 230 V, por lo que la planta está generando un voltaje 14% menor al que debería. Es necesario realizar un mantenimiento correctivo a la planta con el fin de asegurar su adecuado funcionamiento.

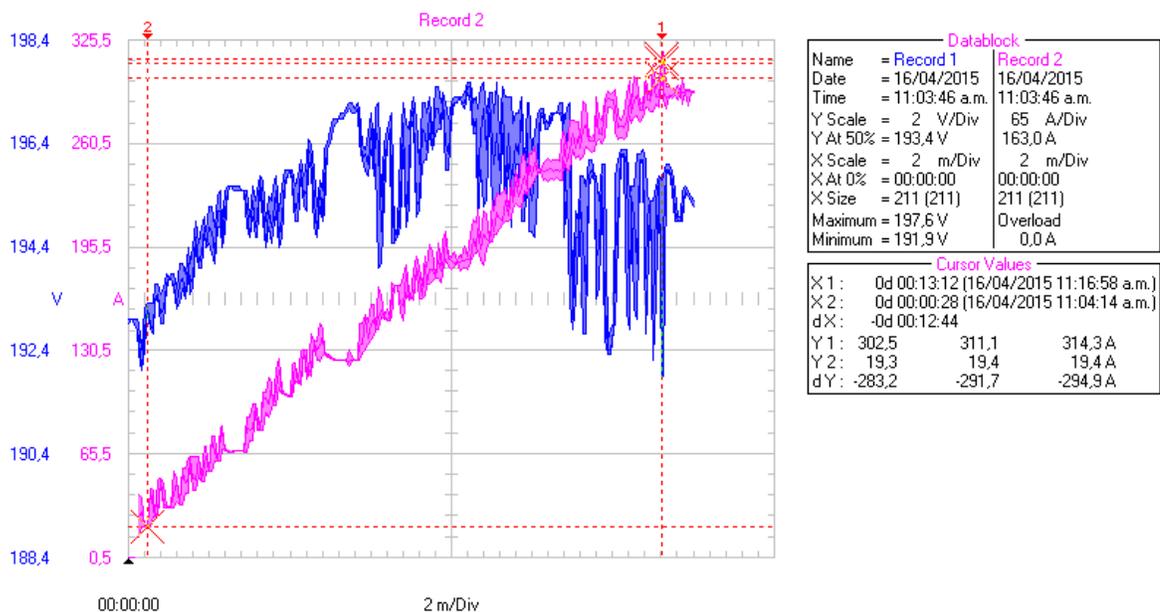


Figura 4.19 Comportamiento de la planta de emergencia conforme el encendido de todos los extractores de la granja

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

Al analizar la carga por iluminación de los galpones, se encuentra un alto desbalance en su forma de instalación. De los 5 galpones, 4 se encuentran conectados a una fase y solo la iluminación del galpón 3 a la otra fase; esto genera un desbalance de 16,1 A (Apéndice 9.5). La Figura 4.20 muestra la corriente registrada en el cable a

tierra de la instalación conforme se encienden las luces en cada galpón y luego se apagan.

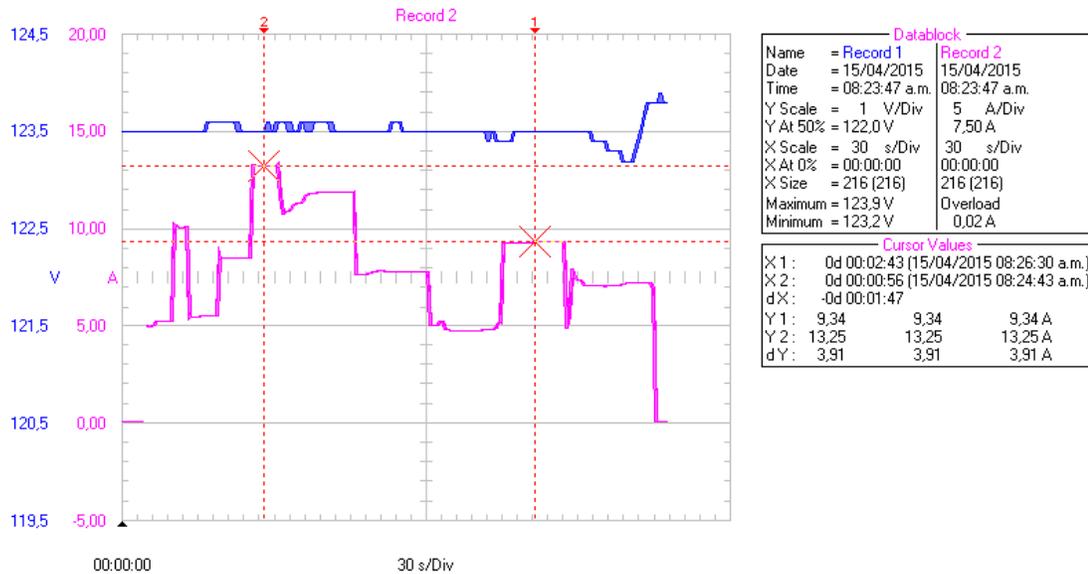


Figura 4.20 Comportamiento de la planta de emergencia conforme el encendido de todos los extractores de la granja

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

Las necesidades de iluminación en los pollos de engorde varían entre 20 y 24 horas diarias, siendo la iluminación artificial administrada de entre 6 y 8 horas por día, para un total de 584 horas por parvada. Este desbalance genera sobrecalentamiento en la fase, y aumenta la tasa de deterioro de la instalación. Con el fin de solucionar esta situación, y tomando en cuenta que el galpón 3 es uno de los más oscuros y requiere más horas de iluminación al día, se recomienda cambiar de fase la iluminación del siguiente galpón más oscuro, el galpón 1. Esto reducirá la corriente a tierra de 16,1 A a 4,5 A.

Una vez evaluadas las diferentes formas de consumo energético en la granja, se hace evidente la necesidad de evaluar el consumo para poder comparar el cambio del desempeño en el tiempo; esto facilitará la evaluación de actividades de

mantenimiento, toma decisiones y establecimiento de metas. La herramienta que permite realizar estas comparaciones son los índices energéticos (Tavares, 2000).

La labor de calcular y registrar estos datos recaerá en las tareas del administrador de la granja, quien actualmente debe estar al tanto de varios índices establecidos por PIPASA. Por ello, se determina implementar el uso de un único índice que permita una idea general del desempeño energético de la granja.

Tomando en cuenta que los precios de los energéticos y el precio de venta del pollo cambian con el tiempo, no se utilizará el desempeño en colones. El índice propuesto es el desempeño en kilogramos de pollo producido comparado con la energía demandada.

Para determinar el consumo energético por parvada existen dos opciones, la primera es sumar el consumo de dos meses seguidos; no obstante, existe la posibilidad de que esta forma involucre el final de una parvada y el inicio de la siguiente. La siguiente opción es coordinar con Coopelesca RL para que continúen las mediciones de energía diaria y faciliten el informe de consumo cada 60 días, iniciando con la llegada del pollo a las granjas. La Ecuación 4.2 muestra la forma de calcular el indicador propuesto.

$$IE = \frac{\text{Pollo producido (kg)}}{\text{Energía por parvada (kWh)}} \quad \text{EC 4.2}$$

Este índice permite determinar cuántos kilogramos se producen por cada kilowatt-hora utilizado. Permitiendo así monitorear la eficiencia en el consumo, e incluso mejoras provocadas en conversión alimenticia.

Las oportunidades de ahorro energético que se han descrito representan mejoras al sistema, sin embargo para que estas medidas generen repercusiones en el tiempo se debe implementar un modelo de mejora continua. El mantenimiento es un punto clave para continuar con la mejora del desempeño general de la granja.

Con el objetivo de implementar un sistema de mantenimiento en la granja que permita reducir la frecuencia de averías y aumentar la eficiencia general de la planta, se vuelve necesario iniciar un registro con las acciones realizadas, determinar que equipos suelen fallar con mayor frecuencia, e identificar que reparaciones representan las mayores inversiones de tiempo y dinero. Dichos datos permitirán calcular índices y evaluar los cambios generados por el mantenimiento.

Como punto de partida, se recomienda documentar los mantenimientos que se realizarán en los extractores según las oportunidades de ahorro descritas. Con el fin de llevar este registro, se creó en la base de datos formularios de mantenimiento y repuestos. La Figura 4.21a muestra el menú principal de la base de datos. El botón de equipos permite revisar datos nominales e introducir nuevos equipos (Figura 4.9). El botón de repuestos permite ingresar o revisar repuestos y sus características. El botón de mantenimientos abre otro formulario (Figura 4.21b) que permite acceder los mantenimientos correctivos y planificados, mostrados en las Figuras 4.21c y 4.21d respectivamente.

Tomando en cuenta que las instrucciones para realizar labores en la granja son de forma oral e impartidas por el administrador de la granja, las órdenes de trabajo quedarán registradas en la base de datos de forma electrónica. Esto permitirá crear un histórico de mantenimiento sin necesidad de mayores cambios en la estructura de trabajo actual.

Esta primer fase posibilitará crear un registro histórico de los mantenimientos básicos realizados, la frecuencia con que se realizan, los costos que representan, el tiempo que requiere su realización; con ello se podrán generar índices de desempeño del mantenimiento para cada parvada. Las rutinas a realizar son simples y pueden ser realizadas por los colaboradores de la granja.



a. Menú principal de base de datos



b. Selección de tipo de mantenimiento

c. Interfaz para mantenimiento correctivo

d. Interfaz para mantenimiento planificado

Figura 4.21 Base de datos generada para la granja avícola Los Alpes

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Access 2010

La siguiente fase comprende rutinas especializadas, toma de datos y análisis de resultados. Los trabajadores de la granja están enfocados en proveer el mejor ambiente posible en los galpones con el fin de que los pollos se encuentren en su zona de confort; sin embargo, no tienen la preparación para realizar un mantenimiento especializado en la planta; además, contratar personal fijo y comprar equipo para realizar mediciones y mantenimiento resulta caro y poco viable en esta empresa.

Se recomienda tercerizar el mantenimiento. Esta opción permitirá reducir los costos operacionales recibiendo servicios especializados; y aumentará la confiabilidad del equipo y su eficiencia (Tavares, 2000). Además, llevando a cabo esta terciarización, la sociedad avícola contará con índices que le ayudarán a dar seguimiento a los cambios generados por el mantenimiento, los costos y ahorro implicado.

La empresa que se contrate deberá implementar un sistema de mantenimiento planificado para dar seguimiento a los equipos y su desempeño. Se debe negociar de antemano el tipo de servicios que se espera, la cantidad de visitas por parvada, el responsable de cubrir los gastos de repuestos, la garantía de servicios, y los índices de desempeño esperados.

El adecuado mantenimiento de los equipos en la granja permitirá aumentar la eficiencia de la planta, reducir las averías y aumentar la confiabilidad de los equipos. De esta manera, se asegura el confort de las aves y la mejora en su conversión alimenticia.

4.3 Análisis y selección de oportunidades de conservación de energía

De acuerdo con el diagnóstico del consumo de energía realizado y con el propósito de mejorar el uso de la energía en la granja avícola Los Alpes, se detallan a continuación las oportunidades de conservación de energía evaluadas.

4.3.1 Cambio Distribución de carga por Iluminación

Se aconseja cambiar la fase de alimentación de la iluminación en el galpón 1; es decir, se busca que quede la iluminación de dos galpones en una fase, y tres galpones en la otra. Este cambio disminuye el desbalance entre fases y reduce la corriente en el conductor a tierra de 16,1 a 4,5 A (Apéndice 9.5); esto implica la disminución del desgaste de los conductores y su calentamiento excesivo.

4.3.2 Cambio de fecha de ingreso de parvada.

Al analizar las fechas de ingreso y salida de las parvadas (Tabla 9.13.1) se nota como PIPASA mantiene días de entrega constantes. Esto sucede hasta que se da alguna eventualidad por la cual deben cambiar la fecha y retomar la rutina hasta el nuevo día impuesto.

Se recomienda coordinar con PIPASA para que la entrada de las parvadas se realice entre los días 22 a 25 de cada mes, fecha en que inicia la facturación de Coopelesca RL. Este cambio permite distribuir el consumo energético de la parvada en los 2 meses, ya que el 50% del consumo energético de la granja se alcanza en el día 30 de la parvada (Apéndice 9.13), y el otro 50% en los últimos 10 días de desarrollo. El recibir parvada en estas fechas permite realizar un pago promedio mensual, evitando la alta variabilidad presentada en los facturas eléctricas, situación que desbalancea las finanzas. Además, este cambio permite determinar el consumo energético por parvada, ya que su consumo se ve reflejado en dos meses continuos.

4.3.3 Mantenimiento en Extractores

El sistema de transmisión de potencia del motor al eje del ventilador se encuentra flojo. Dicha situación provoca la disminución del 10% del flujo volumétrico que puede extraer el ventilador.

Un adecuado mantenimiento de este sistema permitiría mayores velocidades de aire, mayor flujo volumétrico por unidad de tiempo, menor tiempo de uso de extractores para renovar el aire dentro del galpón. El aumento en velocidad y flujo aumenta la carga, lo que se refleja en una corriente mayor. Utilizando los extractores de los galpones 4 y 5 como control -debido a su buen estado y poco tiempo de operación- y comparándolo a las eficiencias encontradas en los galpones 1, 2 y 3, se realizan las proyecciones de ahorro al tensar adecuadamente la faja. El Apéndice 9.9 muestra los cálculos referentes a eficiencias, ahorro y tiempo de retorno proyectados.

El mantenimiento del sistema tensor consiste en limpiar y lubricar la polea tensora del sistema. La inversión necesaria para realizar el mantenimiento es de $\text{€}83600$, y el ahorro estimado por parvada (se realizan 6 parvadas al año) en cada galpón es de $227,56 \text{ kWh}$ que representa $\text{€}18250$: el tiempo de retorno de inversión de 0,76 años. El ahorro generado por este mantenimiento representa la reducción del consumo energético de la planta en 2,4%. Las correcciones y mantenimientos realizados serán registrados en la base de datos, lo que permitirá un seguimiento adecuado del mantenimiento, costos asociados, tiempos y eficiencias.

También se recomienda intercambiar las posiciones de los extractores del 1 al 6 con los del 7 al 11 cada año como fue descrito en la sección 4.2.2. Este proceso representa 3 horas más en la rutina engrase al final de parvada, una vez al año.

4.3.4 Instalación de Aislante

El mal estado del aislante puede provocar aumentos en la temperatura del galpón de hasta 3°C , requiriendo así el arranque de 6 extractores extra. Al realizar inspecciones en los galpones antiguos con deficiencias de aislante y los galpones nuevos, se puede notar la amplia diferencia que genera el aislante en el ambiente y comodidad del pollo. La instalación del aislante nuevo en un galpón debe realizarse durante los 20 días de preparación del galpón; además, el proceso requiere desprender el techo actual, colocar el aislante nuevo y techar nuevamente. Este proceso traerá consigo deterioro de las láminas de vitro-aluminio.

La inversión necesaria para instalar el aislante en un galpón es de $\text{€}4\,060\,000$, y el ahorro proyectado es de $\text{€}69284,16$ por parvada. Esto significa un tiempo de retorno de inversión de 9,77 años.

Debido al largo tiempo de retorno para esta inversión, no se recomienda su implementación; empero, debido a que los galpones antiguos no logran el

rendimiento adecuado debido al mal estado del aislamiento, se recomienda la instalación de un techo falso, como lo describe el punto 4.3.5.

También, se recomienda la siembra de árboles frente a la entrada de aire en los galpones: la sombra que estos generan logra disminuir la radiación que es absorbida por el techo, además de crear movimientos de aire y propiciar la entrada de aire más fresco. Según recomendaciones de PIPASA, los árboles pueden ser sotacaballo, poro o lorito, pues no producen fruto y cumplen adecuadamente las condiciones de bioseguridad, a lo cual se suma que las raíces son adecuadas para el tipo de construcción aledaña.

4.3.5 Techo falso

La instalación de un techo falso en los galpones a la altura de pared lateral disminuye el volumen de aire en un 30%. Por esto, el cambio de aire total de un galpón con la misma cantidad de extractores encendidos se realizaría en un tiempo 30% menor.

El techo falso, además de la reducción de volumen, viene a solventar el problema de instalación de aislante. Se propone realizar un techo falso fijo a los lados del galpón, mientras al centro se instalará una plataforma móvil, que permita su levantamiento al final de cada parvada cuando ingresen los camiones. La altura de dicho techo será de 2,2 m de altura de la pared lateral, y el material será aislante prodex AD3, doble cara de aluminio de 3 mm. La figura 4.22 muestra la instalación de un techo falso en una granja avícola ubicada en Río Cuarto.



Figura 4.22 Instalación de techo falso en granja avícola.

Fuente: fotografía propia

En el Apéndice 9.12 se calculan los ahorros proyectados al instalar el techo falso, la inversión requerida y el tiempo de retorno. Los costos asociados a la instalación del techo falso representan $\text{¢}6\ 000\ 000$. Mientras el ahorro proyectado contempla el mantenimiento del sistema tensor en los extractores, el ahorro por disminución de

volumen y el ahorro por aislante. La disminución proyectada es de 2440,94 horas de extractores, lo que representa 53,2% del consumo actual de energía de los extractores por parvada, es decir, 2563,53 kWh, o bien ¢205 082. La instalación de un techo falso en un galpón reduciría el consumo energético de la granja en un 9%, y la instalación en los 5 galpones lo reduciría en un 45%.

El tiempo de retorno de la inversión es de 4,88 años. No obstante, si se toma en cuenta que al mejorar la capacidad de ventilación en el galpón y asegurar el estado de confort de los pollos mejorará la tasa de conversión alimenticia generando mayores ganancias y que al tener mayor capacidad para mantener los pollos en su zona de confort PIPASA aumentará la densidad de pollo por metro cuadrado permitida en el galpón, el tiempo de retorno se ve reducido en gran medida.

La densidad máxima actual es de 18,5 pollos por metro cuadrado, según el inspector de la granja. Con los cambios propuestos, la granja podría administrarse con una densidad de 19 pollos/m², lo que generaría ganancias por ¢150 000 por parvada, proyectando dos parvadas al año con la máxima densidad posible, la inversión se recuperaría en 3,9 años.

4.3.6 Sistema de Emergencia

El sistema de emergencia se encuentra en mal estado, al analizar su comportamiento (Figura 4.10) se observa que produce un voltaje 14% menor al nominal. Debido a la importancia del sistema de emergencia y el peligro que representa la baja confiabilidad en este activo, se informó a la sociedad y el defecto fue arreglado durante la práctica que da como resultado este documento. El regulador de voltaje se encontraba en mal estado, el mantenimiento correctivo realizado tuvo un costo de ¢416 000.

El sistema de emergencia debe suplir la totalidad de la carga de la granja en caso de una interrupción en el suministro eléctrico. La planta de emergencia de la granja es

una planta trifásico Caterpillar, modelo D333 de 125 kW con capacidad para generar 417 A. El problema actual es que la totalidad de la carga está conectada a dos fases de la planta, lo cual implica un elevado desbalance entre fases.

Esta conexión desgasta la máquina y genera grandes esfuerzos en su sistema. Es necesaria una adecuada distribución de la carga que le permita funcionar de la forma más segura y eficiente. El cambio de conexión que comprende la redistribución de la carga, conexión de transferencia automática y panel de control para proteger la planta requiere de una inversión de ¢4 000 000.

Tomando en cuenta que un fallo en la ventilación de 15 minutos cuando el pollo está en las últimas semanas de desarrollo puede generar una mortalidad del 40% y aumentar conforme pasa el tiempo y que la inversión necesaria representa una mortalidad de 16% de la población, se determina que el retorno de inversión es de 2 meses (1 parvada). La confiabilidad necesaria en el sistema de emergencia de la planta justifica la inversión.

4.3.1 Energía Renovable

La ley costarricense en materia de energía renovable se encuentra en desarrollo. Aún no se tiene una idea clara de cuánto va a costar el acceso a la red y apenas se están dando los primeros pasos con respecto al precio de venta de excedentes de energía generada.

Debido a la variabilidad de consumo entre meses, Purasol Paneles Solares propone la instalación de un sistema de 132,6 kWp de potencia que, aunque no compensa el 100% del consumo de la granja, evita que se cobre la potencia demandada. La cotización del sistema alcanza los \$270 000 (¢145 260 000). No es viable su implementación.

5 CONCLUSIONES

Al finalizar la auditoría energética se han identificado los sectores de uso significativo de la energía, así como diferentes oportunidades de ahorro. A continuación se citan las oportunidades con alta viabilidad de implementación, junto al ahorro proyectado y el tiempo de retorno de inversión:

- La granja avícola Los Alpes presenta un consumo estimado de 30 000 kWh por parvada.
- Del consumo total de energía en la granja, los extractores representan 88%, la iluminación 7%, las bombas del sistema de aspersión 2%, los motores del sistema de comederos 2% y otras cargas 1%.
- Se debe redistribuir la carga por iluminación. El cambio reduce la corriente a tierra de 16,1 A a 4,5 A, disminuyendo el desgaste en los alimentadores y el sobrecalentamiento presentado.
- Se debe coordinar la fecha de entrada de las parvadas con PIPASA de forma tal que se reciba las fechas del 20 al 25 del mes. Esto permitirá consumos promedio de energía cercanos a 15 000 kWh cada mes.
- Se debe realizar mantenimiento al sistema tensor en los extractores. El adecuado funcionamiento del sistema tensor representa un ahorro del 2,4% (682,68 kWh/parvada) del consumo total de la granja. El retorno de esta inversión se estima en 9 meses (4,5 parvadas).
- Se debe realizar un cambio de aislante en los galpones 1,2 y 3.

- La instalación de un techo falso satisface las necesidades de aislante, mientras reduce el volumen a movilizar en un 30%.
- La instalación de techo falso en los galpones 1,2 y 3 representa una reducción del 27% del consumo de energía en la granja (7690,59 kWh/parvada), y su inversión se recupera en 4,88 años.
- Se debe redistribuir la carga conectada al sistema de emergencia, ya que un fallo del mismo representaría pérdidas millonarias. El tiempo de retorno de inversión se estima en una parvada.

6 RECOMENDACIONES

Una vez finalizada la auditoría e implementadas las oportunidades de ahorro, con el fin de que la granja continúe su camino hacia la eficiencia se propone una serie de recomendaciones que le permitirán continuar con los avances realizados, buscando implementar una cultura de mejoramiento continuo.

- Evaluar el estado de la puesta a tierra de la granja.
- Iniciar un registro del consumo de gas por parvada y galpón
- Iniciar un registro de los mantenimientos correctivos realizados, haciendo uso de la codificación implementada y la base de datos.
- Revisar el estado de los capacitores de arranque y régimen de los extractores.
- Dar mantenimiento a los motores del sistema de comederos automáticos.
- Contratar a una empresa que realice el mantenimiento de la empresa.

7 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Agencia Andaluza de la Energía. (2011). *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. España: Agencia Andaluza de la Energía; Consejería de Economía, Innovación y Ciencia.

American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc [ASHRAE]. (2004). *Procedures for Commercial Building Energy Audits*. RP-669, SP 56. Atlanta: Autor.

Asamblea Legislativa. (1994). Ley 7447. Regulación del Uso Racional de la Energía. San José, Costa Rica. La Gaceta N° 236.

Aviagen, Inc. (2009) Manejo del Ambiente en el galpón de pollo de engorde. EEUU: Autor. Recuperado de: http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Aviagen-Manejo-Ambiente-Galpón-Pollo-Engorde-2009.pdf

Blakely, J. (2008). The Economic Importance of Poultry Ventilation Management. *World Poultry magazine*. Recuperado de: <http://www.thepoultrysite.com/articles/1134/the-economic-importance-of-poultry-ventilation-management/>

Boylestad, R. (2004). *Introducción al análisis de circuitos*. México: Pearson Educación.

Brothers, D; Campbell, J; Donald, J, y Simpson, G. (2014) High Wind-speed for Large Birds: Practical Considerations. *The Poultry site*. US National Poultry Technology Center. Recuperado de:

<http://www.thepoultrysite.com/articles/3271/high-windspeed-for-large-birds-practical-considerations/>

Chanto, F. y Chanto, N. (2004). *Manual para la gestión energética y los programas de uso eficiente de la energía en la industria*. San José, Costa Rica: Refinadora Costarricense de Petróleo S. A., Dirección de estudios de demanda energética, Ministerio de Ambiente y Energía

Czarick, M. y Fairchild, B. (2010). High Tunnel Air Velocities = High Static Pressures. *Poultry Housing Tips*, 22, 8.

Fairchild, B. y Lacy, M. (2006). How to control growth to improve economic results. *The Poultry Site*. Recuperado de: <http://www.thepoultrysite.com/articles/647/how-to-control-growth-to-improve-economic-results>

Fraile, J. 2008. *Máquinas Eléctricas* (6ta ed.). España: McGRAW-HILL.

Fundación Red de Energía BUN-CA. (2011). *Manual Técnico: Motores Eléctricos* (1era ed.). San José, Costa Rica: PEER Programa de Eficiencia Energética Regional en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica.

García, S.(2013) *Effiecent environmental management for poultry at the lowest cost*. Recuperado de: <http://poultrysimulator.com/index.php?Seccion=Inicio&Idioma=ENG>

GREENHECK. (2010). Fundamentos de Ventilación. GREENHECK valorizando el aire. Recuperado de: http://www.greenheck.com/es/pdf/fan_fundamentals_spanish.pdf

- ISO. (2011). *Norma ISO 50001. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso* (traducción oficial). Ginebra, Suiza: Autor.
- McGahan, E.; Warren, B.; Davis, R.; Phillips, F. y Naylor, T. (2014). Energy Savings on Farm: Where Will You Get the Biggest Bang for Your Buck? *The poultry site*. Recuperado de: <http://www.thepoultrysite.com/articles/3267/energy-savings-on-farm-where-will-you-get-the-biggest-bang-for-your-buck>
- McKinnon, D. (2007). Using a six fault approach for predictive maintenance on motors. *PdMA Corporation*. Recuperado de: http://www.pdma.com/pdfs/Articles/Using_a_Six_Fault_Zone_Approach_for_Predictive_Maintenance_on_Motors.pdf
- Micorsoft Office (2015). Conceptos básicos del diseño de una base de datos Recuperado de: <https://support.office.com/es-es/article/Conceptos-b%C3%A1sicos-del-dise%C3%B1o-de-una-base-de-datos-eb2159cf-1e30-401a-8084-bd4f9c9ca1f5?ui=es-ES&rs=es-ES&ad=ES>
- Pacific Northwest. (2011). A Guide to energy audits. Building Technologies Program. US Department of Energy. Recuperado de: http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-20956.pdf
- Partida, A. (2012). Factores que influyen en el mantenimiento. *Mantenimiento y Mentoring Industrial*. Recuperado de: <http://mantenimiento-mi.es/2012/factores-que-influyen-en-el-mantenimiento#more-142>
- Programa Estado de la Nación. (2013). Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (pp. 177–228). San José, Costa Rica: Autor.

- Shah, S. (2009). Energy Saving Tips. *The Poultry Site*. Recuperado de: <http://www.thepoultrysite.com/articles/1287/energy-saving-tips/>
- SKF Group. (2010). SKF bearing maintenance handbook. Recuperado de: <http://skf.elanders.cn/media/custom/upload/File-1352446538.pdf>
- NTN. (2014). Bearing Units. Technical Data. Recuperado de: http://www.ntn.co.jp/english/products/catalog/pdf/2400E_01.pdf
- Tabler, T, Wells, J & Yakout, H. (2013). Summer is coming-Prepare Broiler houses now. *The Poultry Site*. Recuperado de: <http://www.thepoultrysite.com/articles/2889/summer-is-coming-prepare-broiler-houses-now/>
- Tavares, L. 2000. *Administración Moderna de Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicaciones.
- Wiernusz, C. (2008). Optimising Management to Combat High Feed Costs. *The Poultry Site*. Recuperado de: <http://www.thepoultrysite.com/articles/1199/optimising-management-to-combat-high-feed-costs>
- Zulovich, J & Harner, P. (2008). Fans: Airflow versus Static Pressure. *Housing of the future*. Sioux Falls, SD. Recuperado de: <http://www.asi.k-state.edu/doc/dairy/fans-airflow-vs-static-pressure.pdf>

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fluke. (2001). *Fluke 43B. Analizador eléctrico avanzado. Manual de Uso*. Lugar: Fluke Corporation.

Juvinal, R. y Marshek, K. (2012). *Fundamentals of Machine Component Design*. (5ed.). Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Nakano, K. (2007). *Keikaku Hozen. Mantenimiento Planificado* (Traducido por Sakai, K. Carvajal, J.). San Jose, Costa Rica: Taller de publicaciones Instituto Tecnológico de Costa Rica.

SKF group (2010) *Manual SKF de mantenimiento de rodamientos*. Recuperado de: <https://decmechanico.files.wordpress.com/2010/07/manual-de-rodamientos-skf.pdf>

Summers, J. (2008). Heat Stress. *The Poultry Site*. Recuperado de: <http://www.thepoultrysite.com/articles/1192/heat-stress>

Vega, J. (2013). *Evaluación del consumo energético del plantel de RECOPE en la Garita, Alajuela*. Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Tecnológico de Costa Rica. Cartago.

Zúñiga, M. (2014). *Elaboración De Una Guía Práctica para el Uso Eficiente de la Energía en empresas MiPYMES del Sector Alimenticio en Costa Rica*. Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Tecnológico de Costa Rica. Cartago.

9 APÉNDICE

9.1 Metodología para Diagnosticar Energéticamente un Motor Eléctrico de Inducción

El diagnóstico energético de los motores eléctricos se realizará de acuerdo a la metodología del Manual Técnico de Motores Eléctricos elaborado por la Fundación Red de Energía BUN-CA (2011). Este documento consta de las siguientes actividades: recopilación de datos, realización de mediciones, análisis de carga, análisis energético.

1. Recopilación de datos

Se cuenta con la información de cada extractor, gracias a la base de datos en que se registró los datos nominales de cada equipo según su código. (La figura 4.6 muestra la interfaz de ingreso de un equipo nuevo a la base de datos).

2. Realización de mediciones

Se requiere realizar mediciones eléctricas con un analizador de redes eléctricas. Las mediciones puntuales no sirven dado que no reflejan la forma de trabajo del motor. Para este efecto se utilizará el Analizador Eléctrico Avanzado Fluke 43B.

Debido a la gran cantidad de motores con que se cuenta en la granja, solo se realizarán mediciones a los extractores, equipos que presentan el mayor consumo de energía en la granja. De cada galpón se analizarán los extractores 1 y 3 en tiempo de registro de 1 hora, que permite intervalos de trazado de 15 segundos. Los demás extractores serán analizados con registros de 16 minutos con intervalos de trazado de 4 segundos. Este análisis se realizará con el fin de corroborar que el comportamiento concuerde.

El procedimiento para realizar las mediciones es:

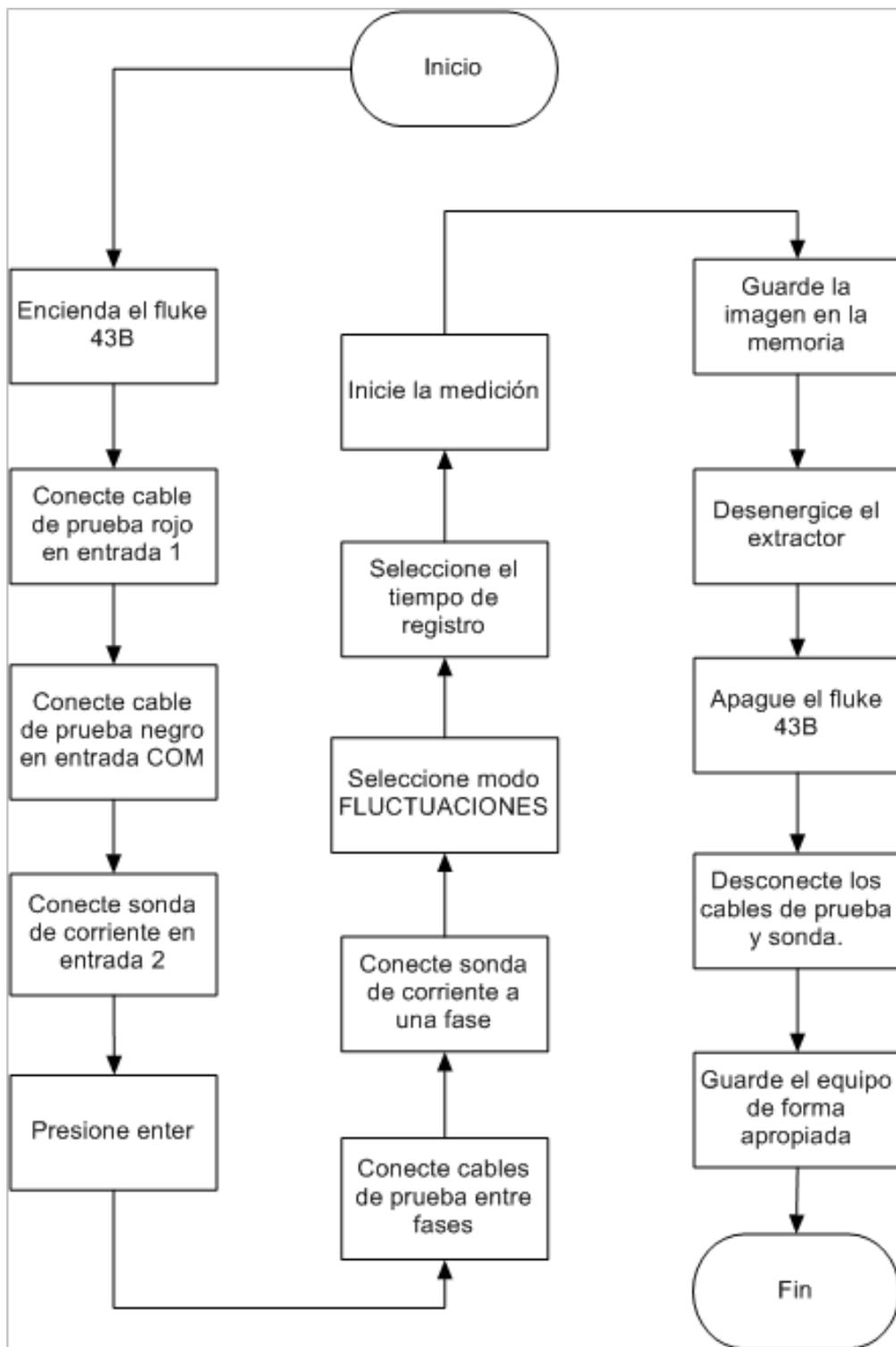


Figura A9.1.1 Metodología para realizar mediciones con el Fluke 43B
 Fuente: elaboración propia utilizando ClickCharts Diagram Flowchart Program.

3. Análisis de carga por el método de deslizamiento

El deslizamiento de un motor es un indicador bastante preciso que permite inferir el factor de carga de un motor y su eficiencia. Para determinar el deslizamiento se utiliza un tacómetro. Debido al tamaño del tacómetro, no se logra realizar la medición directa de la velocidad del eje del motor; y por causa de estas limitaciones, el deslizamiento se determina midiendo la velocidad de giro del eje del ventilador: se miden las dimensiones de las poleas, y con la relación de transformación se calcula la velocidad de giro del motor.

$$s = \frac{V_n - V_R}{V_n} \quad \text{EC A.1}$$

Se estima el factor de carga tomando en cuenta el deslizamiento nominal y el real por medio de la ecuación A.2

$$FC = \frac{S_R}{S_N} \quad \text{EC A.2}$$

Se calcula la eficiencia del motor por medio de la ecuación A.3

$$\eta = \frac{FC * P_N(HP) * 0.476}{I_R(kW)} \quad \text{EC A.3}$$

9.2 Carga Instala

Tabla A9.2.0 Carga Instalada en el sector administrativo

Acometida	Equipo	Corriente	Potencia (kW)
1	0	0	0
Acometida 1	Total (kW)		0
	OB01	4,80	576,00
2	DUCHA	40,00	4800,00
	LUZ EXTERIOR	0,42	50,00
	LUZ LAVANDERIA	0,18	22,00
	TOMACORRIENTE	20,00	4800,00
	TOMACORRIENTE	20,00	2400,00
	LAVADORA	20,00	2400,00
Acometida 2	Total (kW)		15,05
Total G0 (kW)			15,05

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tabla A9.2.1 Carga Instalada en el Galpón 1

Acometida	Equipo	Corriente	
		(A)	Potencia (kWh)
1	1E01	6,20	1488,00
	1E02	6,20	1488,00
	1E03	6,20	1488,00
	1E04	6,20	1488,00
	1E05	6,20	1488,00
	1E06	6,20	1488,00
	1E07	6,20	1488,00
	1E08	6,20	1488,00
	1E09	6,20	1488,00
	1E10	6,20	1488,00
	1E11	6,20	1488,00
	1C01	2,70	648,00
	1C02	3,10	744,00
	1C03	3,10	744,00
	1B01	6,20	1488,00
	PANEL DE CONTROL	0,08	19,20
	BOTA CORTINAS	3,33	800,00
	TOMACORRIENTE	20,00	2400,00
	LUZ CUARTO	0,18	22,00
	LUZ PRINCIPAL	7,20	864,00
PROTECCION	0,04	4,80	
Acometida 1	Total (kW)		24,102
2	TOMACORRIENTE	20,00	2400,00
	LUZ ENTRADA	0,18	22,00
	1X01	5,50	1320,00
	TOMACORRIENTE	20,00	4800,00
Acometida 2	Total (kW)		8,542
Total G1 (kW)			32,644

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tabla A9.2.2 Carga Instalada en el Galpón 2

Acometida	Equipo	Corriente (A)	Potencia (kWh)
1	2E01	6,20	1488,00
	2E02	6,20	1488,00
	2E03	6,20	1488,00
	2E04	6,20	1488,00
	2E05	6,20	1488,00
	2E06	6,20	1488,00
	2E07	6,20	1488,00
	2E08	6,20	1488,00
	2E09	6,20	1488,00
	2E10	6,20	1488,00
	2E11	6,20	1488,00
	2C01	3,10	744,00
	2C02	3,10	744,00
	2C03	3,10	744,00
	2B01	6,20	1488,00
	PANEL DE CONTROL	0,08	19,20
	BOTA CORTINAS	3,33	800,00
	TOMACORRIENTE	20,00	2400,00
	LUZ CUARTO	0,18	22,00
	LUZ PRINCIPAL	5,00	600,00
PROTECCION	0,04	4,80	
Acometida 1	Total (kW)		23,93
2	TOMACORRIENTE	20,00	2400,00
	LUZ ENTRADA	0,18	22,00
	2X01	5,50	1320,00
	TOMACORRIENTE	20,00	4800,00
Acometida 2	Total (kW)		8,542
Total G2 (kW)			32,48

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tabla A9.2.3 Carga Instalada en el Galpón 3

Acometida	Equipo	Corriente (A)	Potencia (kWh)
1	3E01	6,20	1488,00
	3E02	6,20	1488,00
	3E03	6,20	1488,00
	3E04	6,20	1488,00
	3E05	6,20	1488,00
	3E06	6,20	1488,00
	3E07	6,20	1488,00
	3E08	6,20	1488,00
	3E09	6,20	1488,00
	3E10	6,20	1488,00
	3E11	6,20	1488,00
	3C01	3,10	744,00
	3C02	2,70	648,00
	3C03	3,10	744,00
	3B01	6,20	1488,00
	PANEL DE CONTROL	0,08	19,20
	BOTA CORTINAS	3,33	800,00
	TOMACORRIENTE	20,00	2400,00
	LUZ CUARTO	0,18	22,00
	LUZ PRINCIPAL	5,00	600,00
PROTECCION	0,04	4,80	
Acometida 1	Total (kW)		23,838
2	TOMACORRIENTE	20,00	2400,00
	LUZ ENTRADA	0,18	22,00
	3X01	5,50	1320,00
	TOMACORRIENTE	20,00	4800,00
Acometida 2	Total (kW)		8,542
Total G3 (kW)			32,38

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tabla A9.2.4 Carga Instalada en el Galpón 4

Acometida	Equipo	Corriente (A)	Potencia (kWh)
1	4E01	6,20	1488,00
	4E02	6,20	1488,00
	4E03	6,20	1488,00
	4E04	6,20	1488,00
	4E05	6,20	1488,00
	4E06	6,20	1488,00
	4E07	6,20	1488,00
	4E08	6,20	1488,00
	4E09	6,20	1488,00
	4E10	6,20	1488,00
	4E11	6,20	1488,00
	4E12	6,20	1488,00
	4E13	6,20	1488,00
	4C01	3,10	744,00
	4C02	3,10	744,00
	4C03	3,10	744,00
	4B01	4,80	1152,00
	ALARMA	1,00	240,00
	BAKCUP	1,00	240,00
	BOTACORTINAS	3,33	800,00
PANEL DE CONTROL	0,08	19,20	
LUZ GALPON	3,13	375,60	
LUZ CUARTO	0,18	22,00	
TOMACORRIENTE	50,00	12000,00	
TOMACORRIENTE	15,00	1800,00	
Acometida 1	Total (kW)		38,22
2	CONTROLADOR	0,08	19,20
	4X01	4,10	984,00
	TOMACORRIENTE	40,00	9600,00
Acometida 2	Total (kW)		10,60
Total G4 (kW)			48,83

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tabla A9.2.5 Carga Instalada en el Galpón 5

Acometida	Equipo	Corriente (A)	Potencia (kW)
1	5E01	6,20	1488,00
	5E02	6,20	1488,00
	5E03	6,20	1488,00
	5E04	6,20	1488,00
	5E05	6,20	1488,00
	5E06	6,20	1488,00
	5E07	6,20	1488,00
	5E08	6,20	1488,00
	5E09	6,20	1488,00
	5E10	6,20	1488,00
	5E11	6,20	1488,00
	5E12	6,20	1488,00
	5E13	6,20	1488,00
	5C01	3,10	744,00
	5C02	3,10	744,00
	5C03	3,10	744,00
	5B01	4,80	1152,00
	ALARMA	1,00	240,00
	BAKCUP	1,00	240,00
	BOTACORTINAS	3,33	800,00
PANEL DE CONTROL	0,08	19,20	
LUZ GALPON	4,74	568,80	
LUZ CUARTO	0,18	22,00	
TOMACORRIENTE	50,00	12000,00	
TOMACORRIENTE	15,00	1800,00	
Acometida 1	Total (kW)		38,42
2	CONTROLADOR	0,08	19,20
	5X01	4,10	984,00
	TOMACORRIENTE	40,00	9600,00
Acometida 2	Total (kW)		10,60
Total G5 (kW)			49,02

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Consumo energético estimado por parvada

Tabla A9.2.6 Consumo de energía estimado por parvada

Equipo	Horas/Galpón	Consumo (kWh)	Porcentaje
Extractores	4532	25177,42	89%
Iluminación	584	1983,26	7%
Bombas	96	552,96	2%
Comederos	64	714,24	2%
Total		28427,88	100%

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

9.3 Diagramas Unifilares

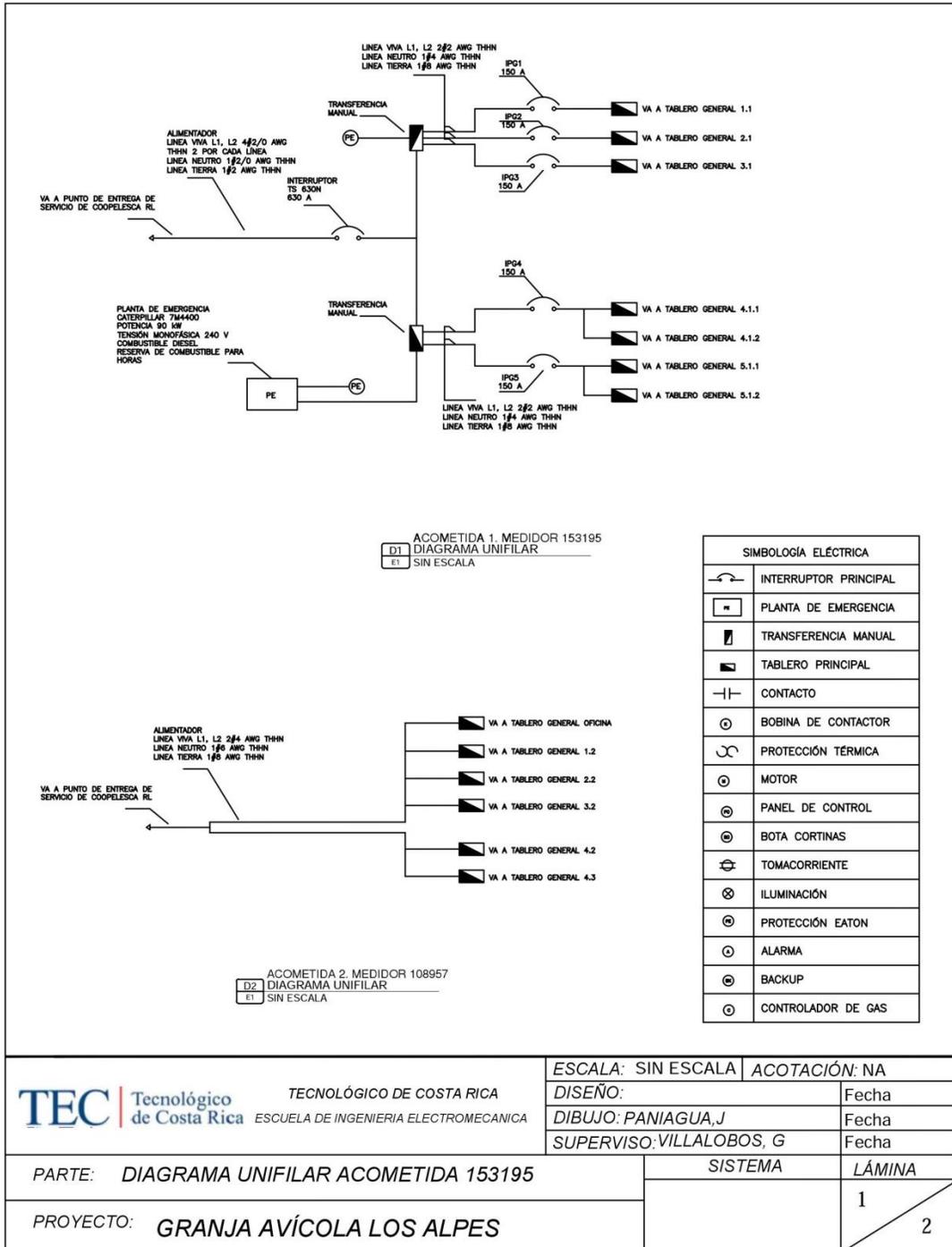


Figura A9.3.1 Diagrama Unifilar Granja Los Alpes
Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010..

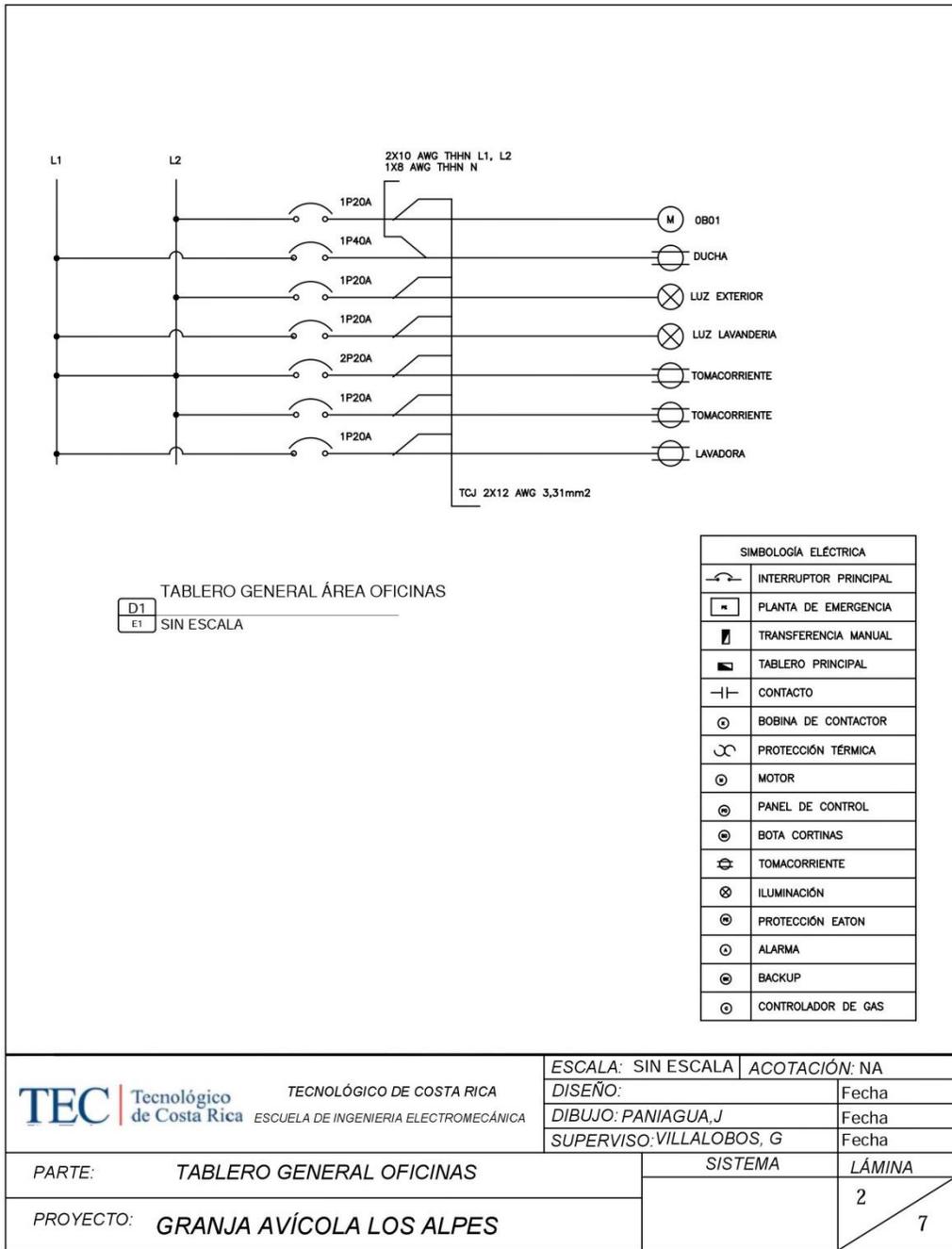


Figura A9.3.2 Distribución de tablero general Área Oficina
Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

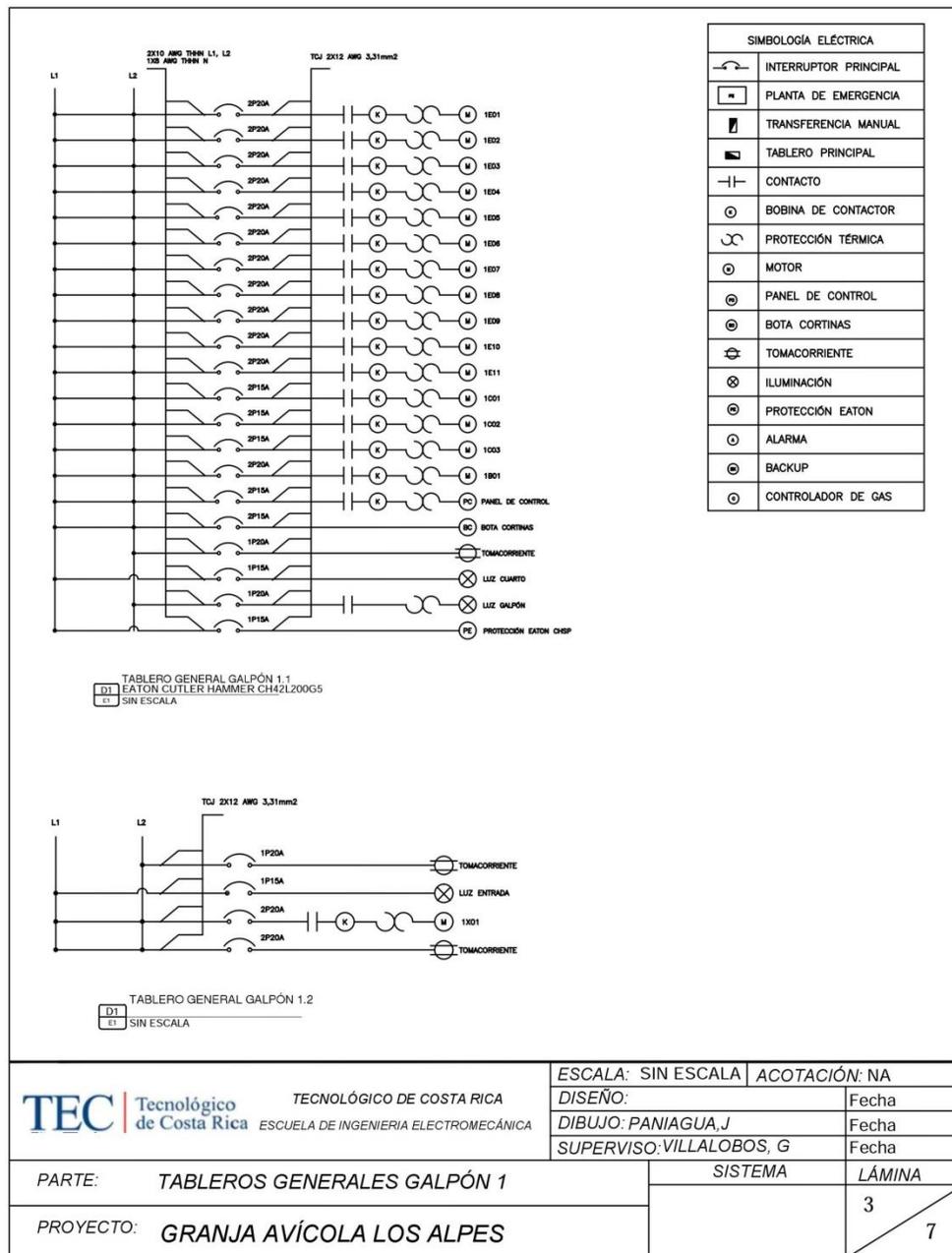


Figura A9.3.3 Distribución de tablero general Galpón 1
Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

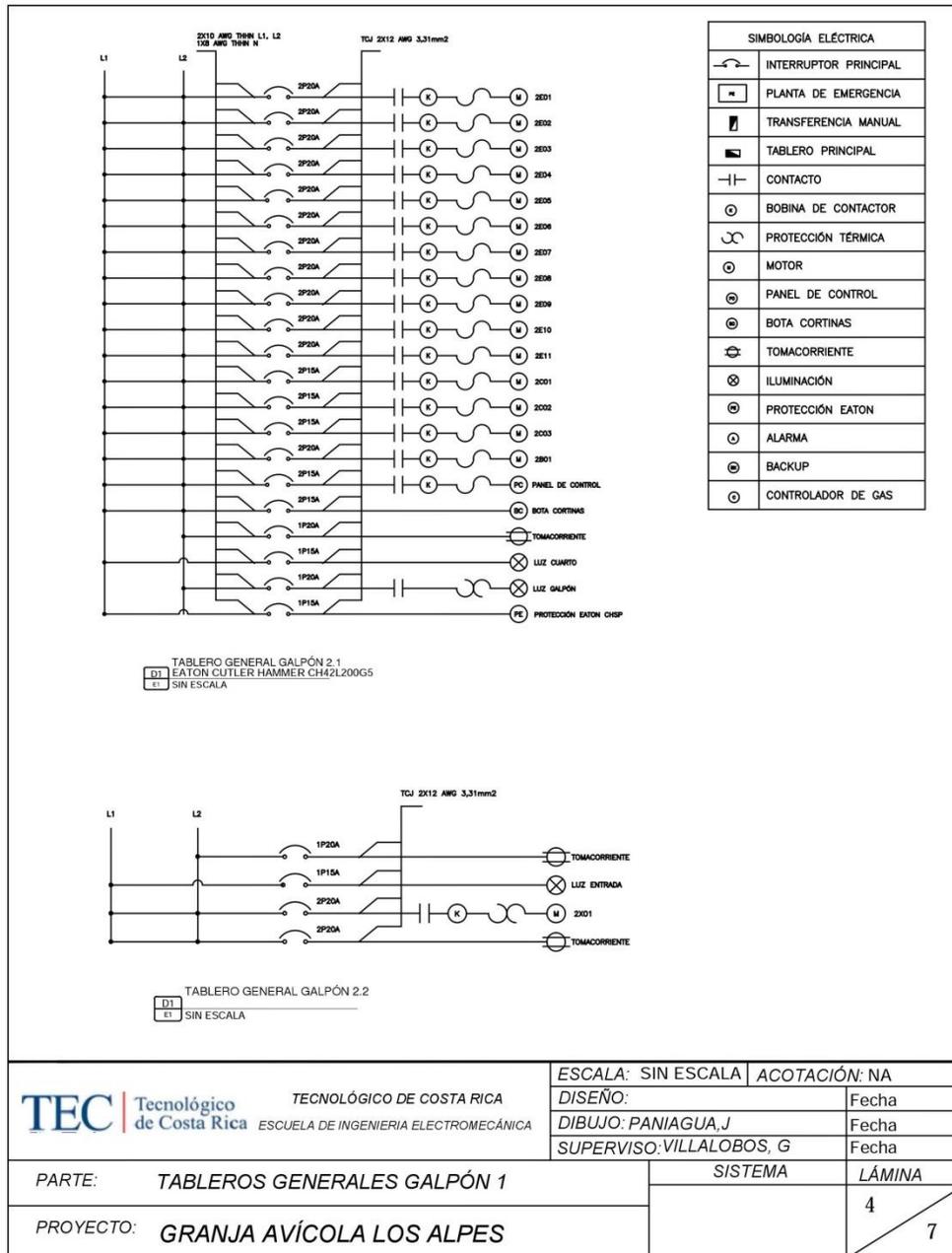


Figura A9.3.4 Distribución de tablero general Galpón 2
Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

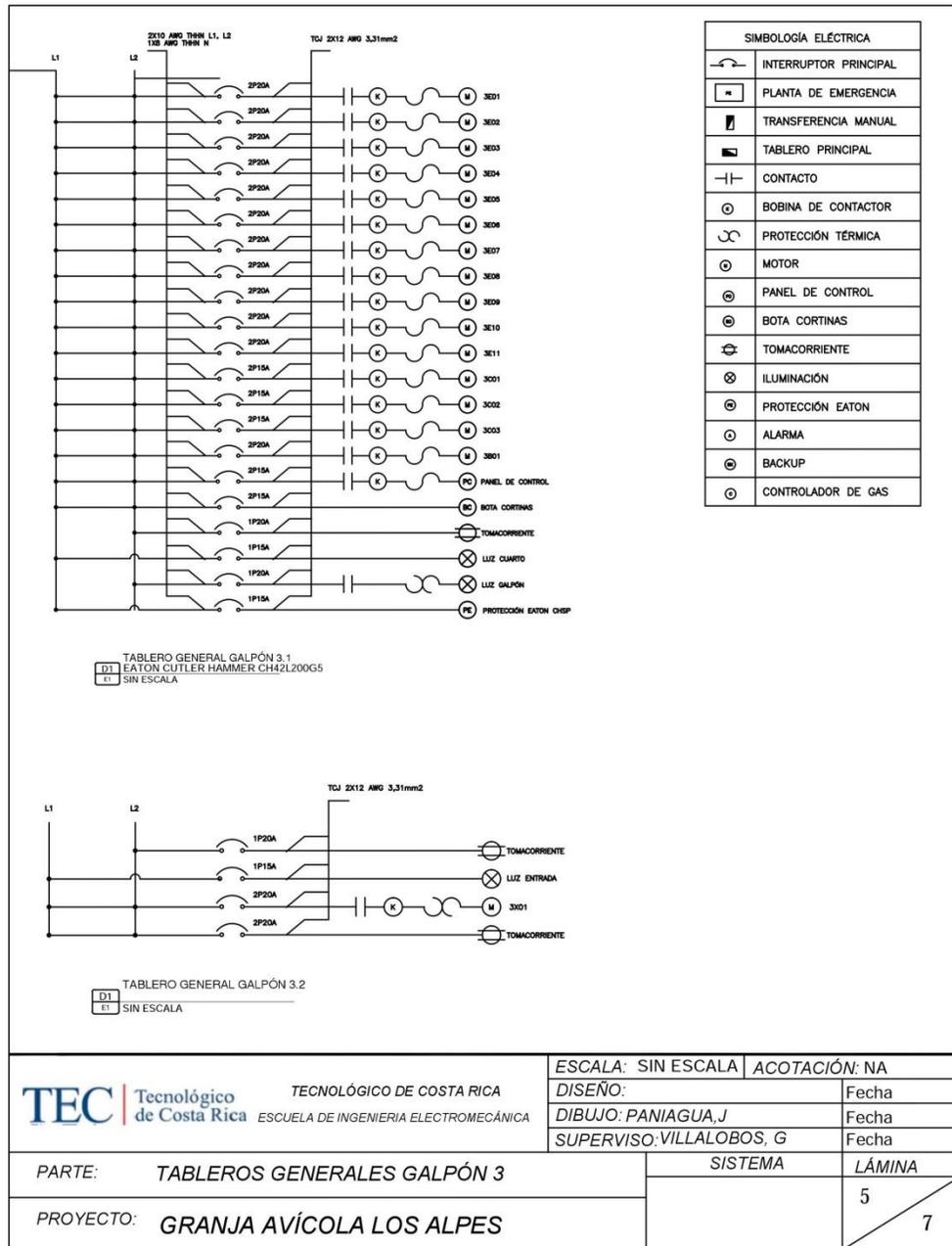


Figura A9.3.5 Distribución de tablero general Galpón 3
Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

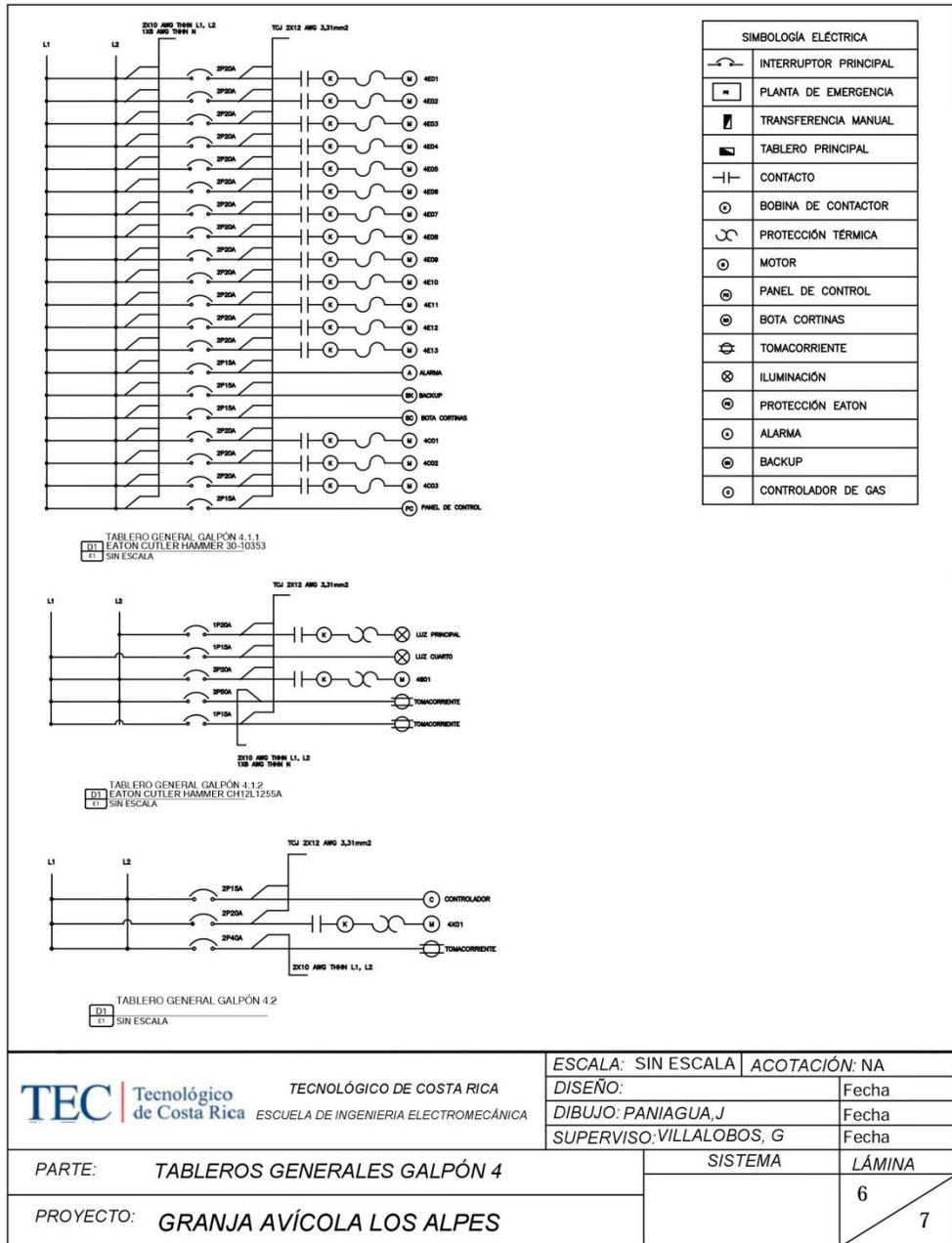


Figura A9.3.6 Distribución de tablero general Galpón 4

Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

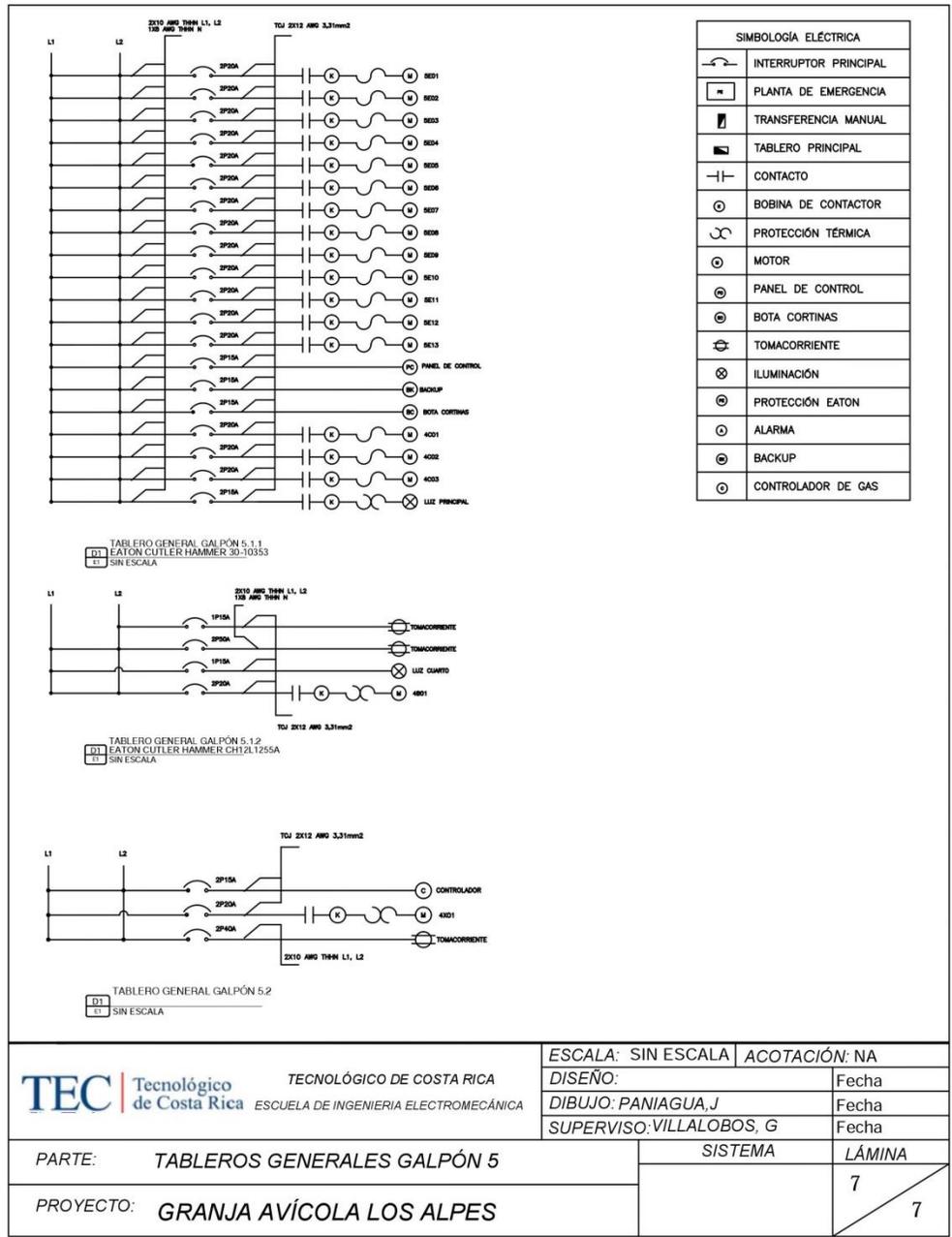


Figura A9.3.7 Distribución de tablero general Galpón 5
 Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

9.4 Curva de temperaturas

Tabla A9.4.1 Curva de temperaturas conforme día de crecimiento

Día	Temperatura Óptima (°C)
1	32
3	30
5	29,5
7	28,5
11	27,5
14	26,5
18	25,5
21	25
24	24
28	22

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

9.5 Calculo de horas iluminación

Tabla A9.5.1 Iluminación administrada a los pollos de engorde según día de desarrollo

Día	Luz	Natural	Artificial	Promedio	Horas
1-6	24	8-6	16-18	17	102
7-20	20	8-6	12-14	13	182
21-40	22	8-6	14-16	15	300
Total					584

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tabla A9.5.1 Costo de Iluminación por parvada

Galpón	Fase L1 (A)	Fase L1 (A)	kWh	Costo
1	5,8	0,0	406,464	32517,12
2	5,9	0,0	413,472	33077,76
3	0,0	6,1	427,488	34199,04
4	5,2	0,0	364,416	29153,28
5	5,3	0,0	371,424	29713,92
Total	22,2	6,1	1983,264	158661,12

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

9.6 Cálculo de horas de extractor por parvada

Tabla A9.6.1 Uso aproximado de extractores según posición y día de desarrollo

E/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	Horas			
1	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	744			
2									2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	14	15	15	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	632,4	
3														12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	
4														12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	456	
5														10	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	426	
6														10	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	24	24	24	24	24	24	24	24	24	402	
7																		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	24	24	24	24	324		
8																			10	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	24	24	24	288	
9																				10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	264	
10																										8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	180
11																											8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	180	
12																													12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	156		
13																														12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	156		
E	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	6	6	6	6	9	9	9	9	9	9	9	9	11	11	11	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13			

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

9.7 Deslizamientos

El deslizamiento fue calculado midiendo la velocidad en el eje del ventilador; y por medio de los tamaños en las poleas, se calculó la velocidad del motor. La relación de transformación es de 3,16.

Tabla A9.7.1 Velocidad de extractores y deslizamiento calculado

Extractor	Ventilador (rpm)	Motor (rpm)	Deslizamiento (%)
1E01	508,00	1605,58	10,80
1E02	515,40	1628,97	9,50
1E03	498,00	1573,98	12,56
1E07	494,90	1564,18	13,10
1E10	499,00	1577,14	12,38
2E01	508,60	1607,48	10,70
2E02	496,90	1570,50	12,75
2E03	500,50	1581,88	12,12
2E08	503,30	1590,73	11,63
3E01	545,00	1722,52	4,30
3E02	548,60	1733,90	3,67
3E03	530,80	1677,64	6,80
3E06	536,60	1695,97	5,78
3E10	427,70	1351,79	24,90
4E01	557,10	1760,77	2,18
4E02	554,60	1752,87	2,62
4E03	558,00	1763,61	2,02
4E10	559,70	1768,98	1,72
4E12	560,50	1771,51	1,58
4E13	557,30	1761,40	2,14
5E01	557,50	1762,03	2,11
5E02	561,30	1774,04	1,44
5E03	559,00	1766,77	1,85

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

9.8 Mediciones Fluke

Las siguientes imágenes muestran los registros obtenidos al realizar mediciones con el Fluke 43B por períodos de una hora o 6 minutos según la metodología, en el modo Fluctuaciones. Este modo permite registrar el voltaje y la corriente consumidos en

intervalo de trazado cada 15 segundos, almacenando el valor mínimo, máximo y promedio.

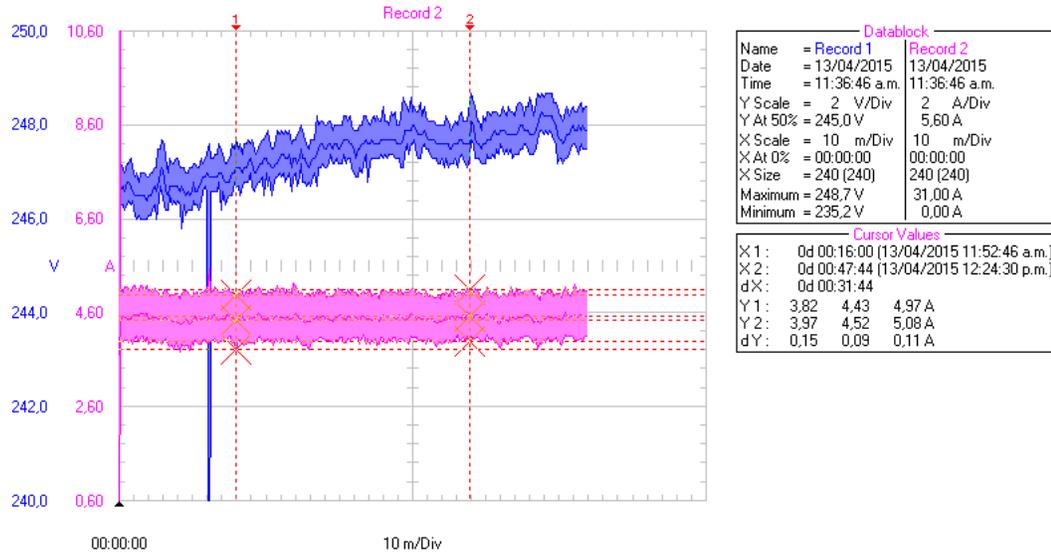


Figura A9.8.1 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

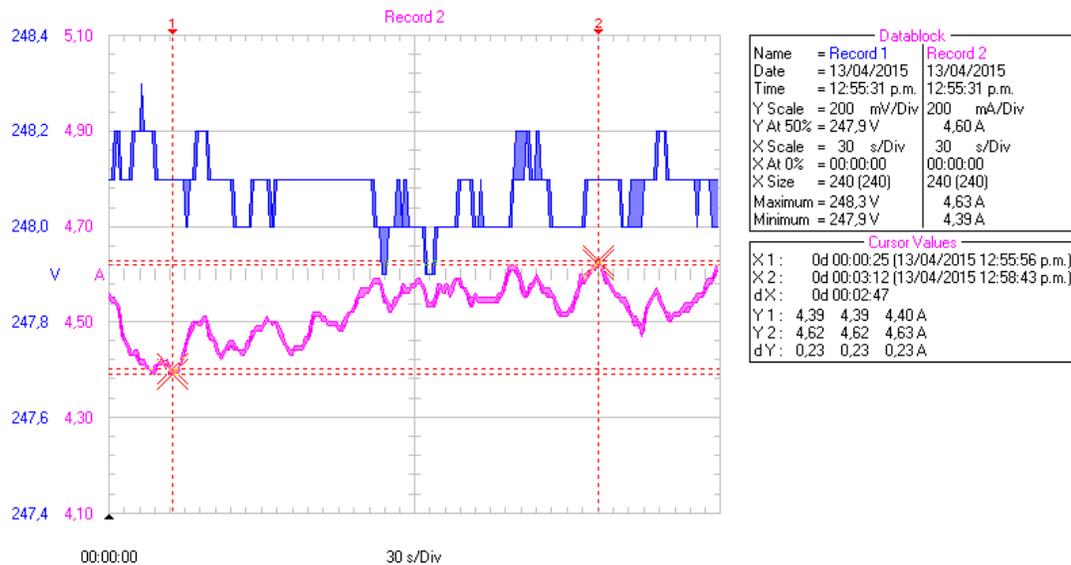


Figura A9.8.2 Registro de voltaje y corriente para el extractor 1E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

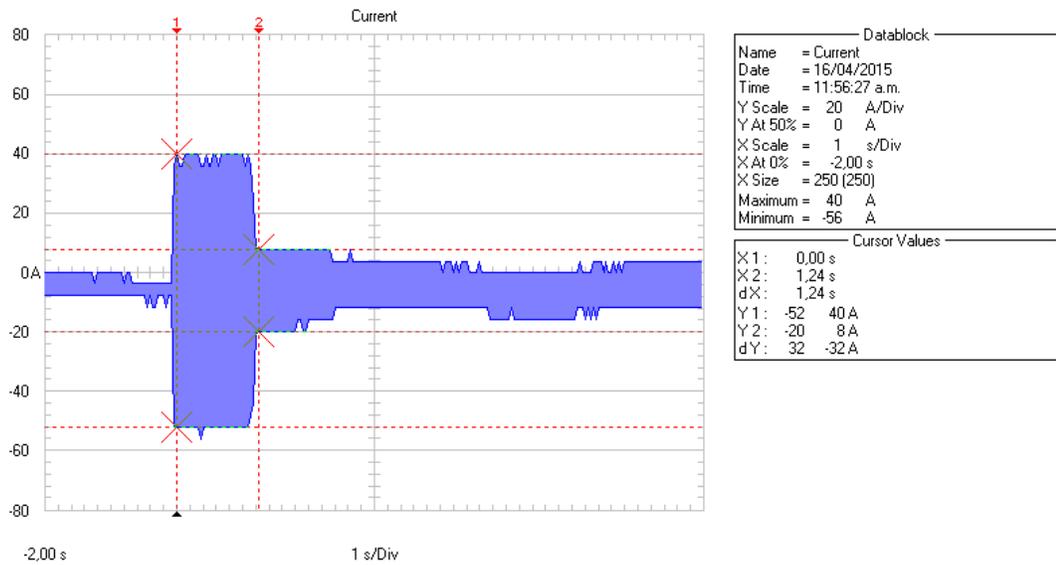


Figura A9.8.3 Arranque registrado en el extractor 1E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

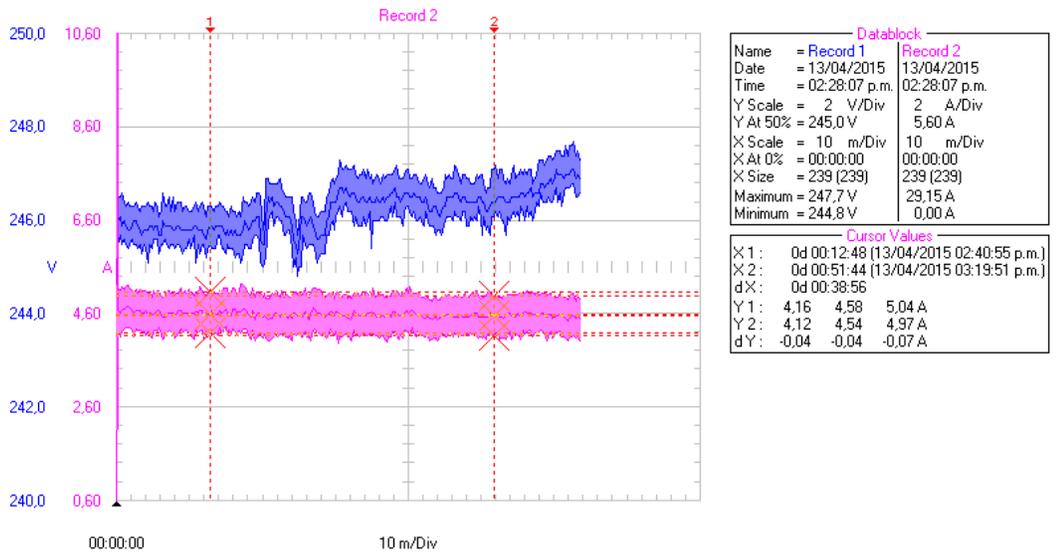


Figura A9.8.4 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E02

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

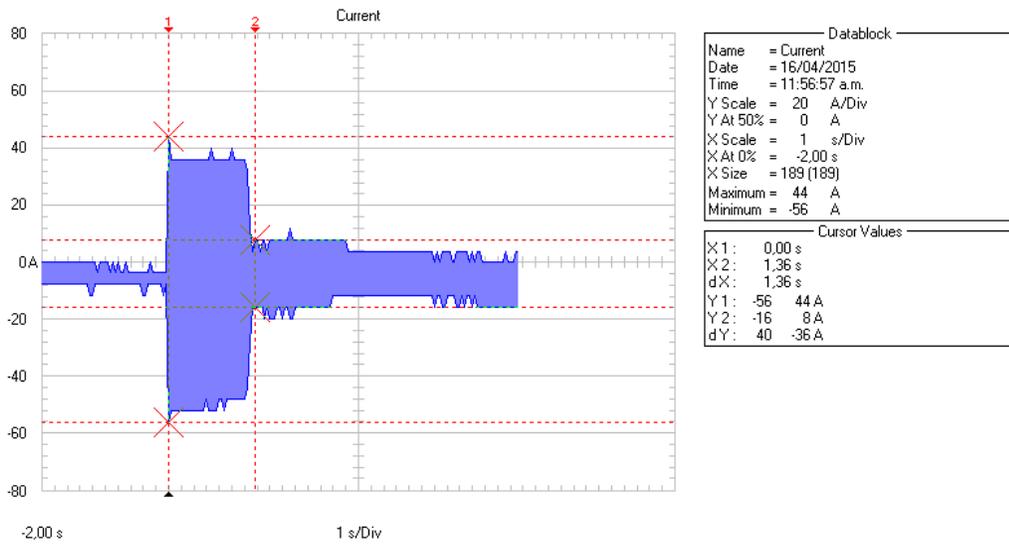


Figura A9.8.5 Arranque registrado en el extractor 1E02

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

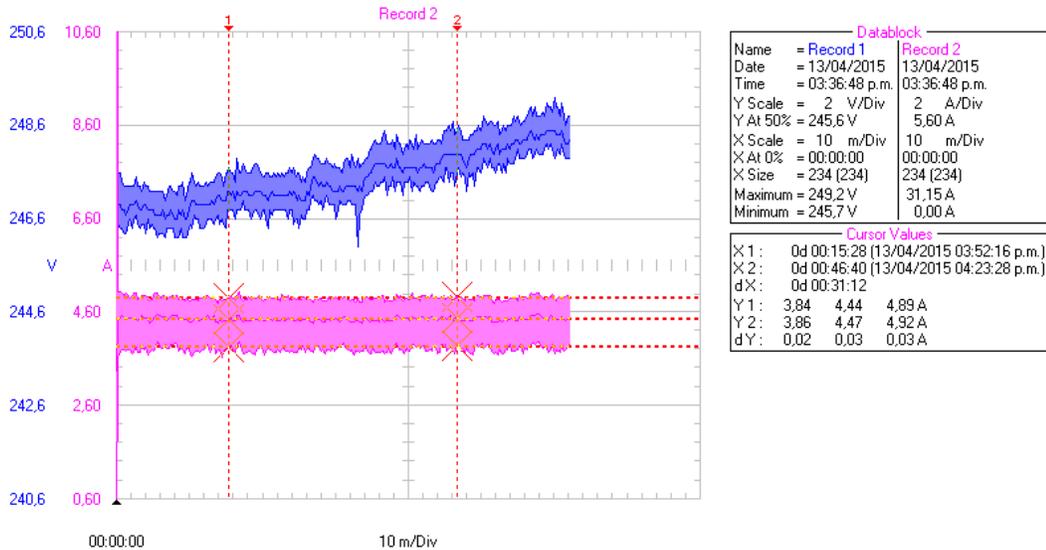


Figura A9.8.6 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E03

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

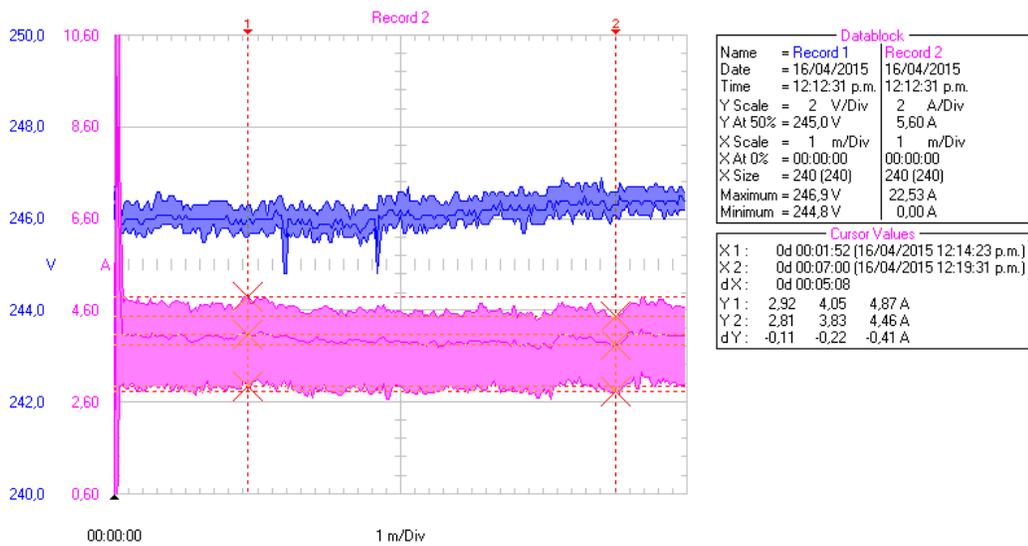


Figura A9.8.7 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E07

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

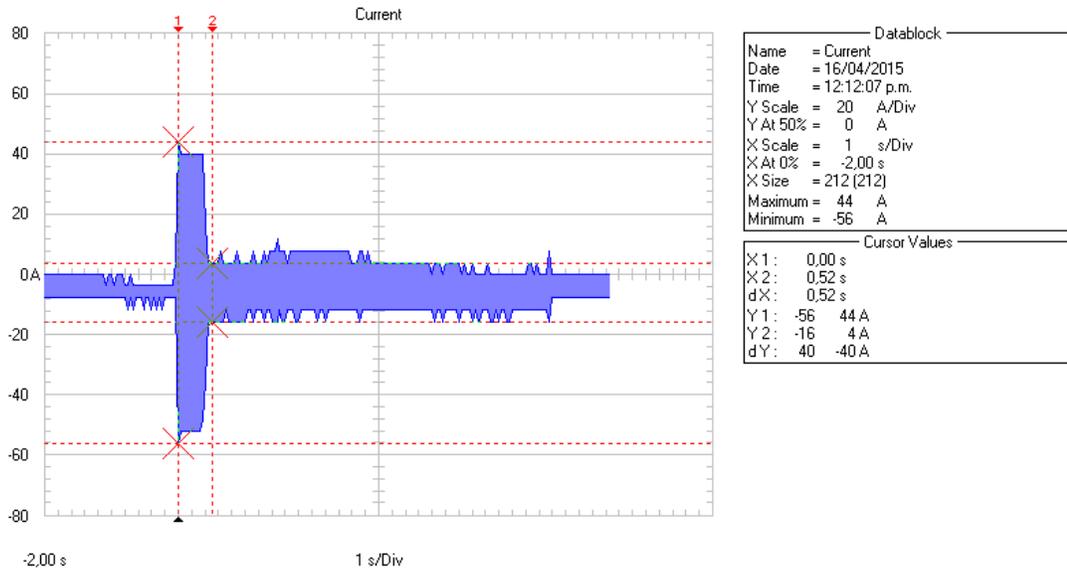


Figura A9.8.8 Arranque registrado en el extractor 1E07

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

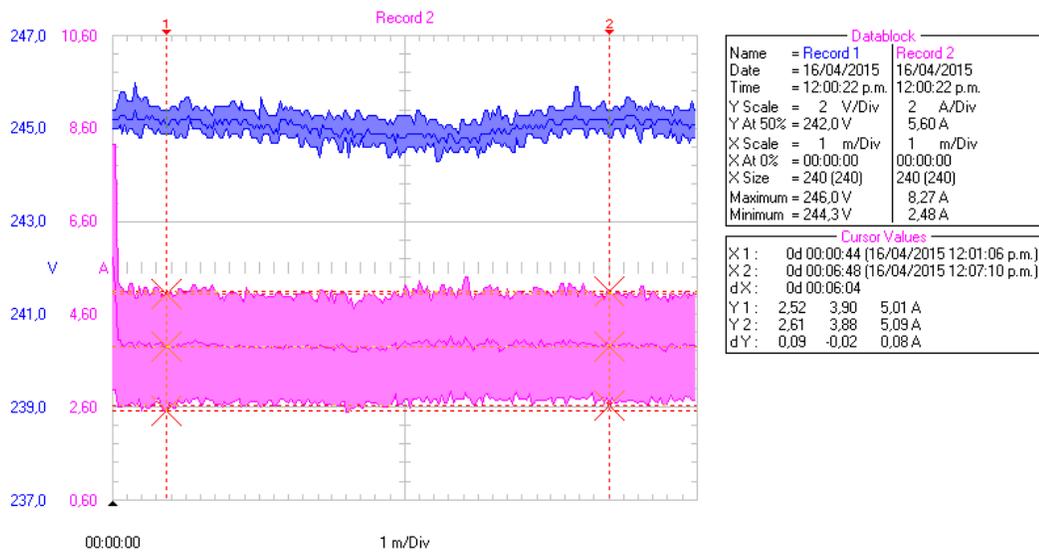


Figura A9.8.9 Fluctuaciones registradas en el extractor 1E10

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

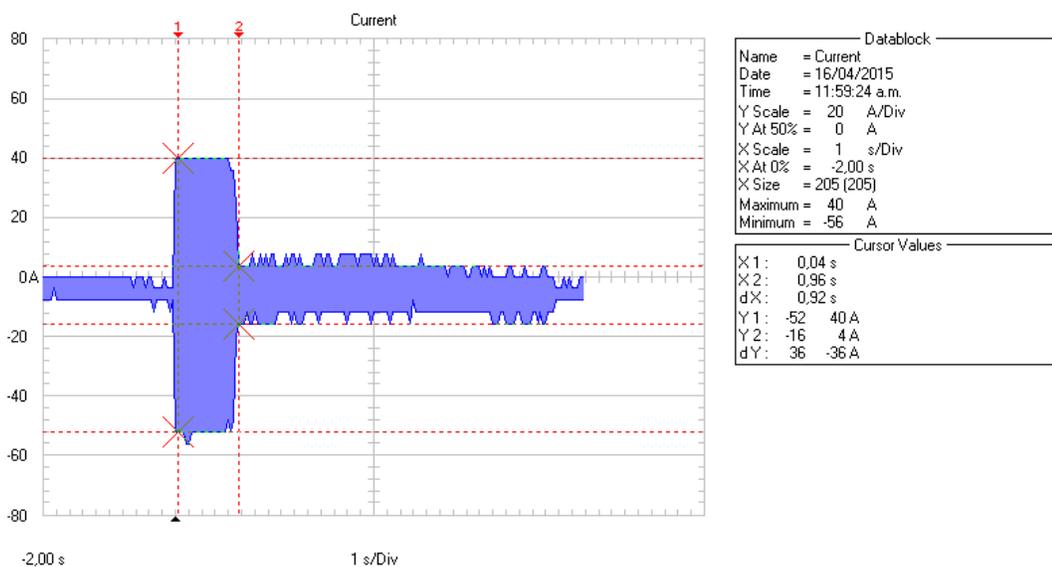


Figura A9.8.10 Arranque registrado en el extractor 1E10

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

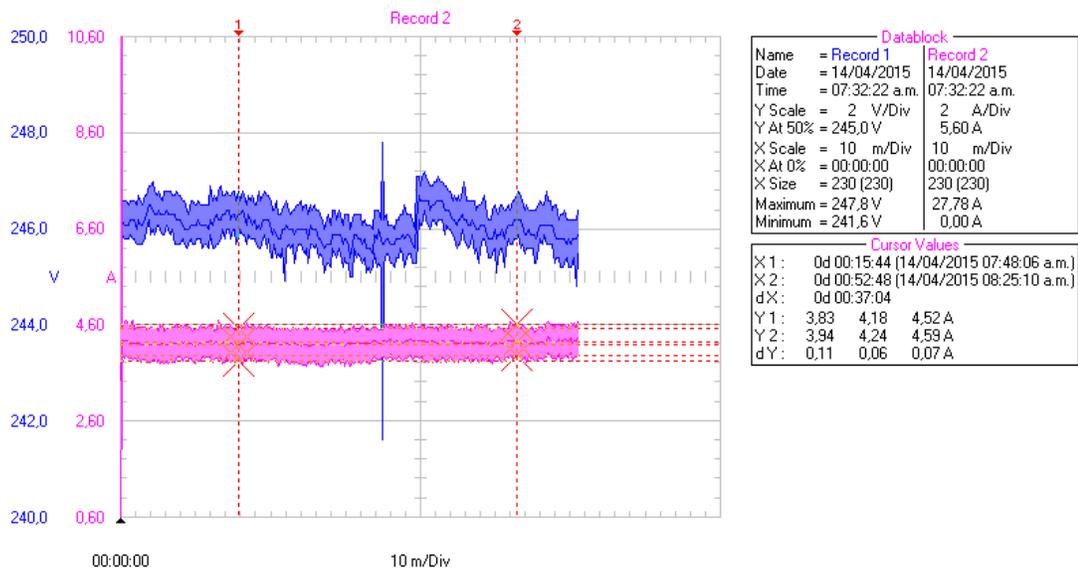


Figura A9.8.11 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

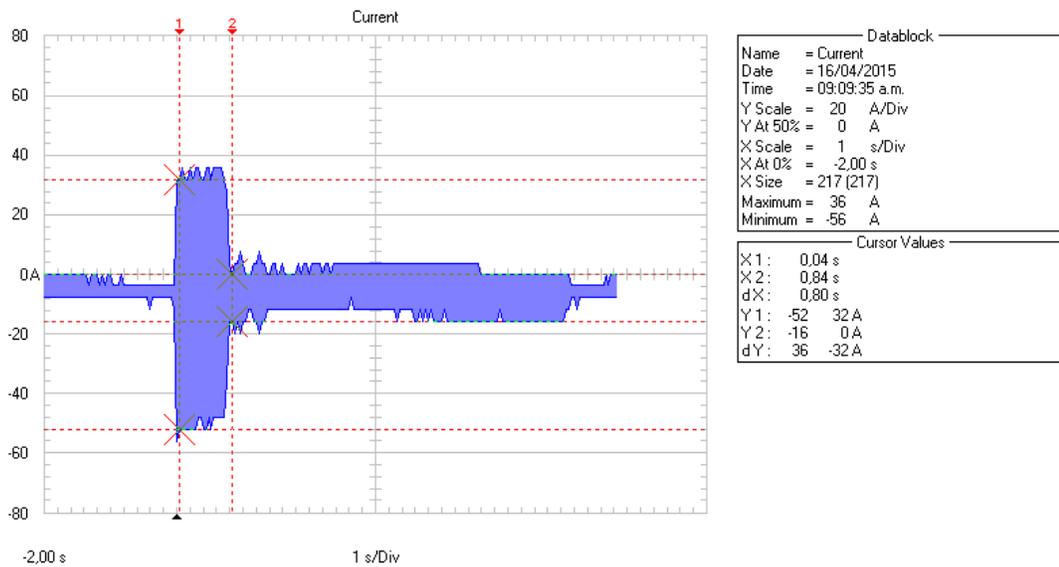


Figura A9.8.12 Arranque registrado en el extractor 2E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

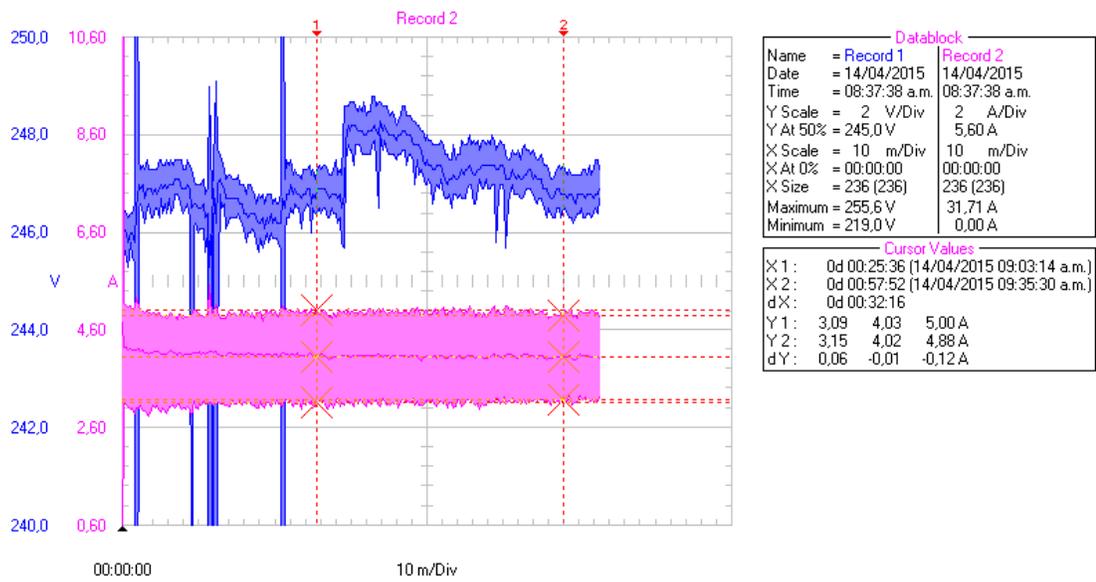


Figura A9.8.13 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E02

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

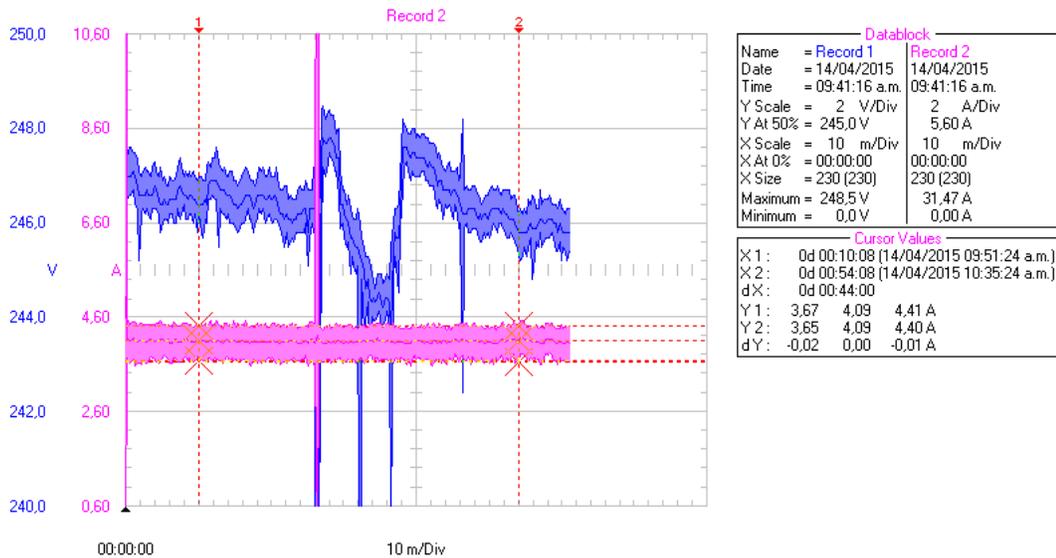


Figura A9.8.14 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E03

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

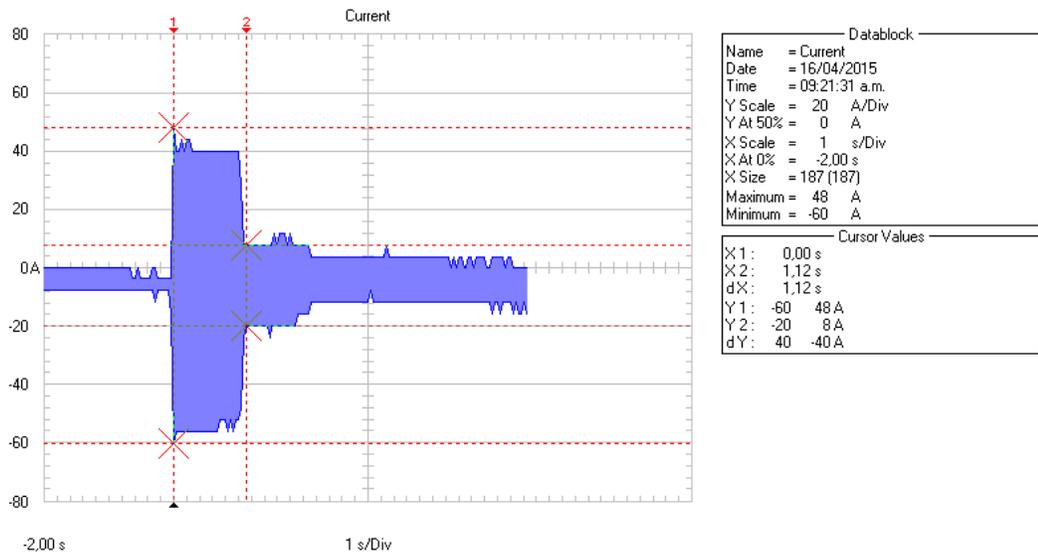


Figura A9.8.15 Arranque registrado en el extractor 2E03

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

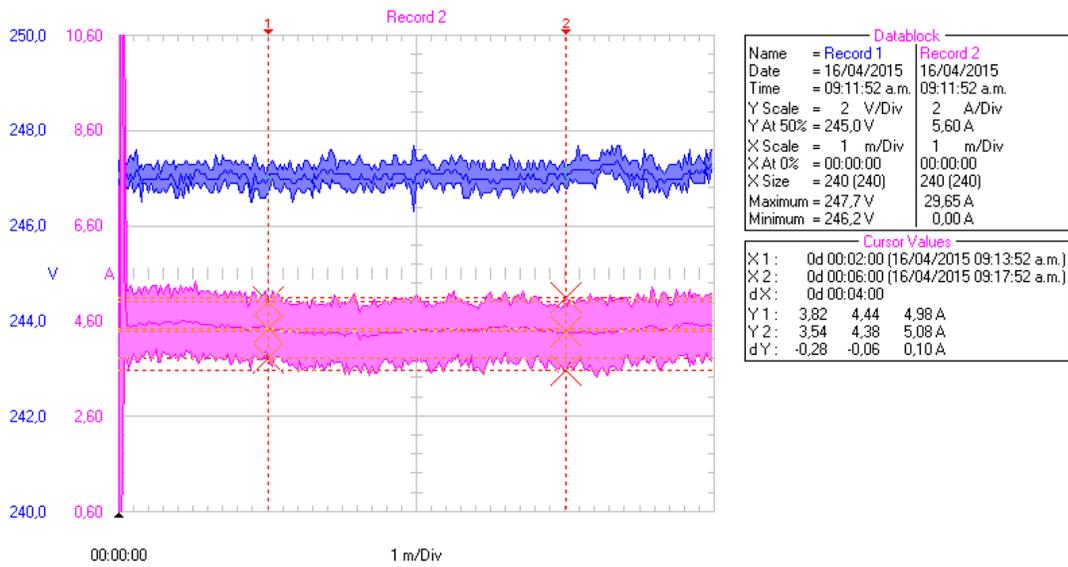


Figura A9.8.16 Fluctuaciones registradas en el extractor 2E08

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

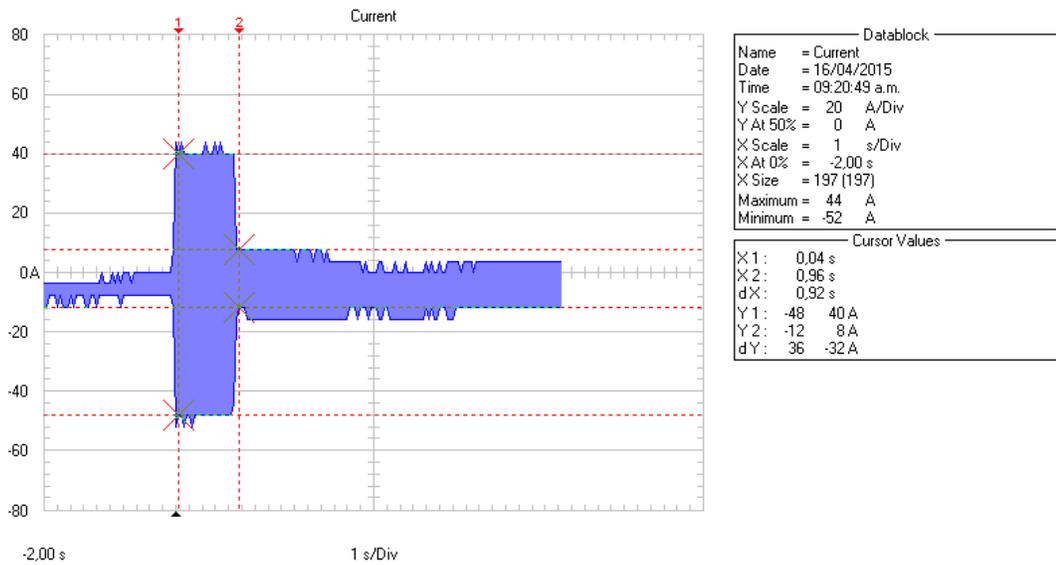


Figura A9.8.17 Arranque registrado en el extractor 2E08

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

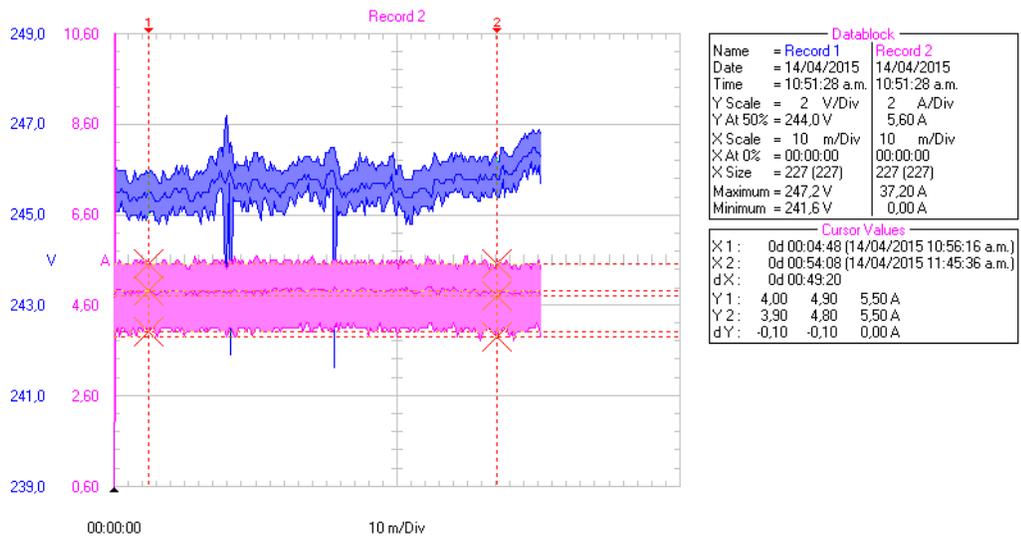


Figura A9.8.18 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

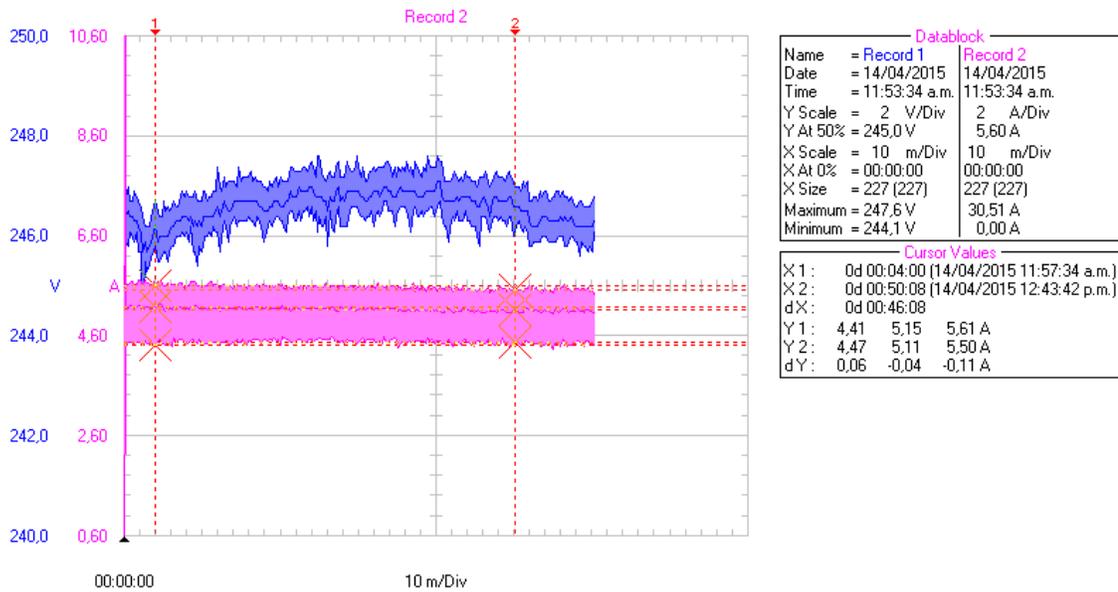


Figura A9.8.16 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E02

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

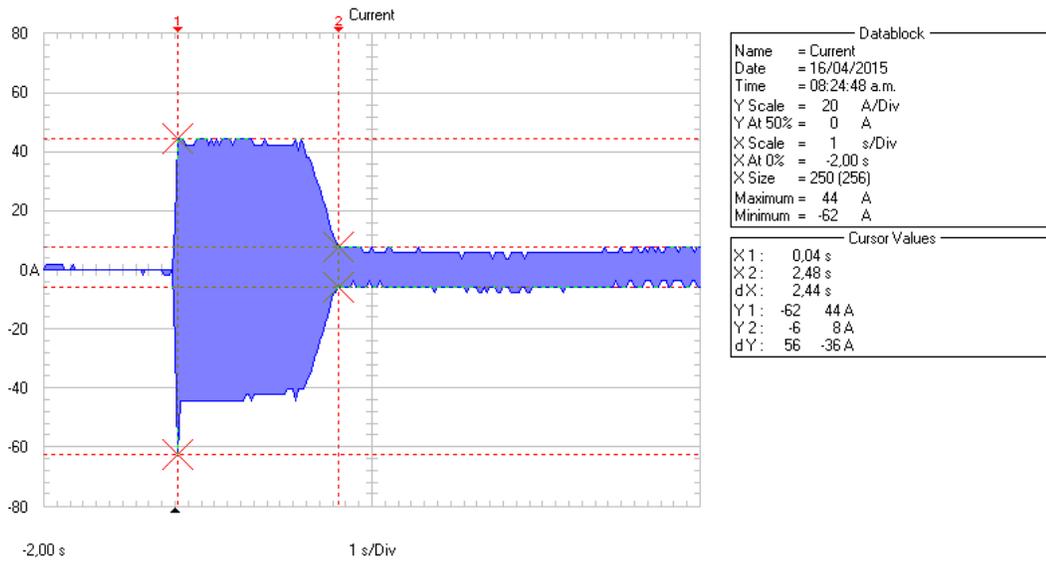


Figura A9.8.17 Arranque registrado en el extractor 3E02

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

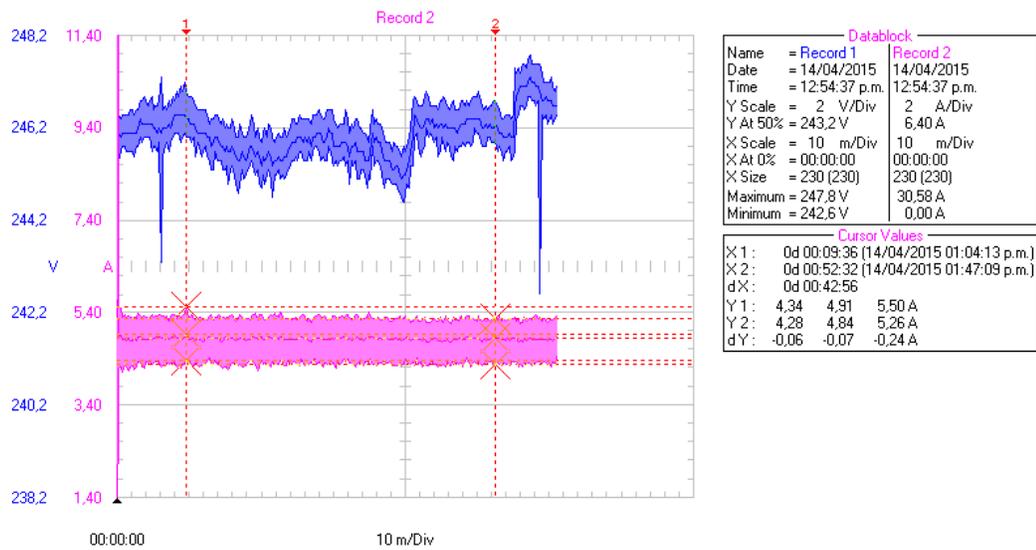


Figura A9.8.18 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E03

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

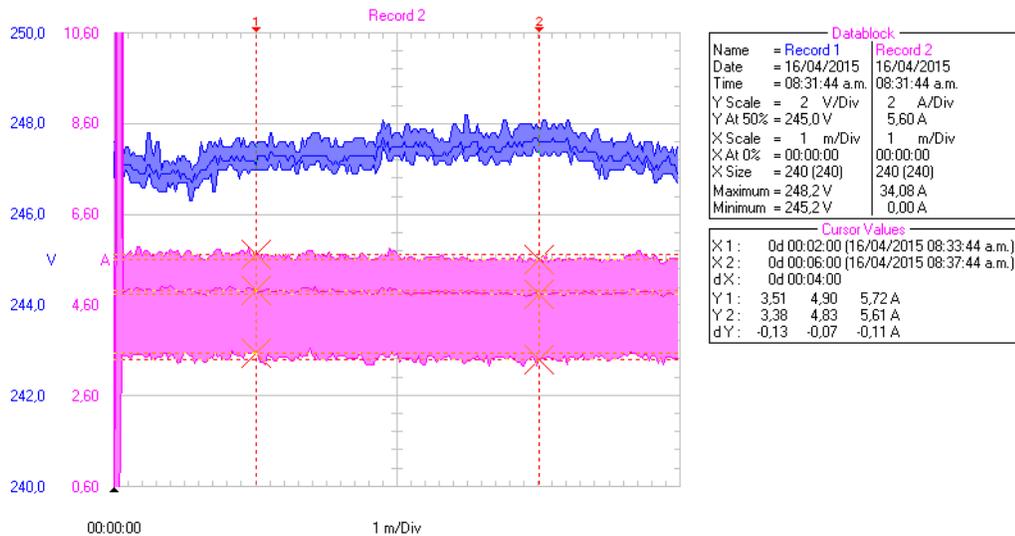


Figura A9.8.19 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E06

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

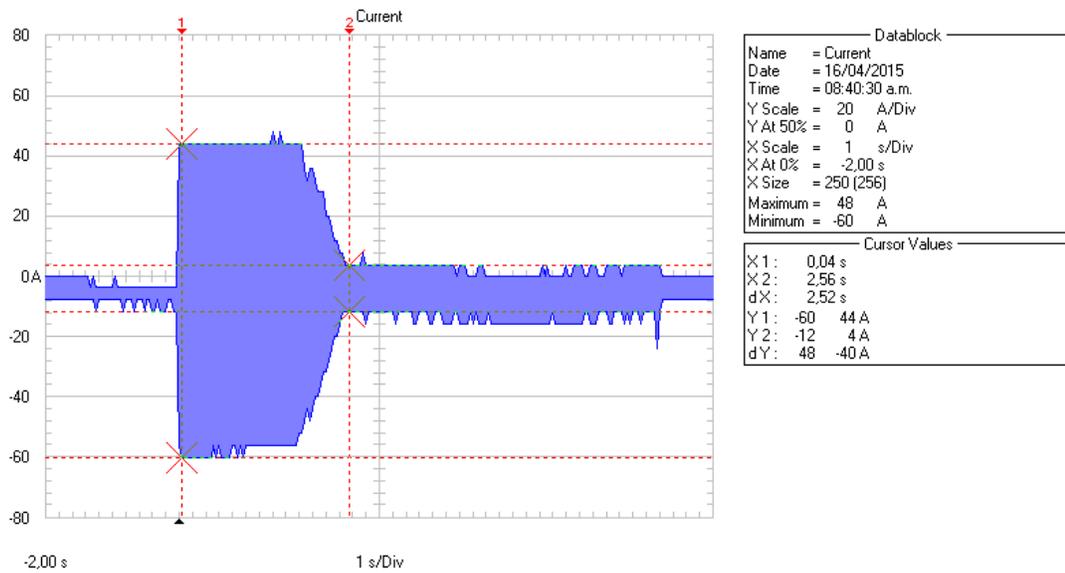


Figura A9.8.20 Arranque registrado en el extractor 3E06

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

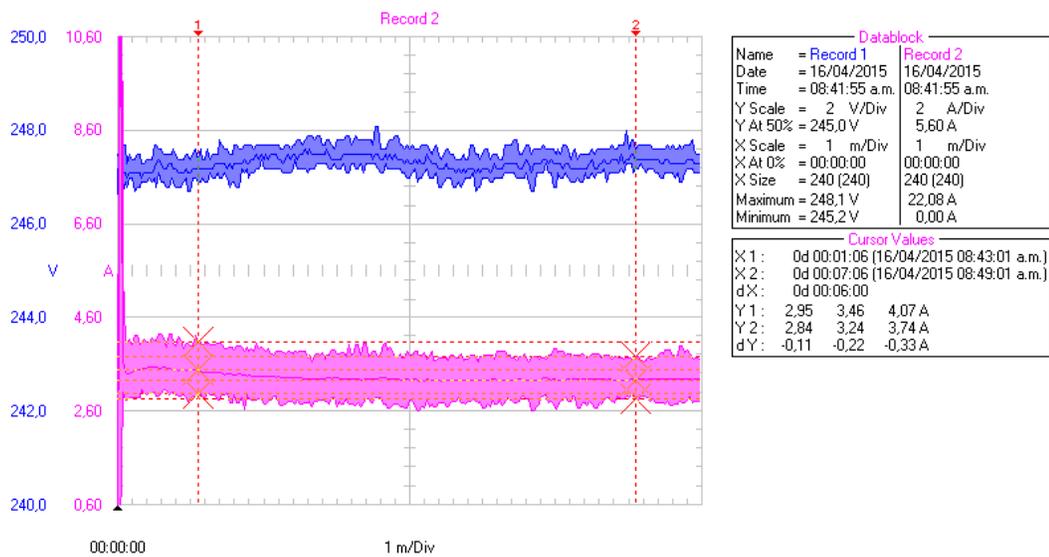


Figura A9.8.21 Fluctuaciones registradas en el extractor 3E10

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

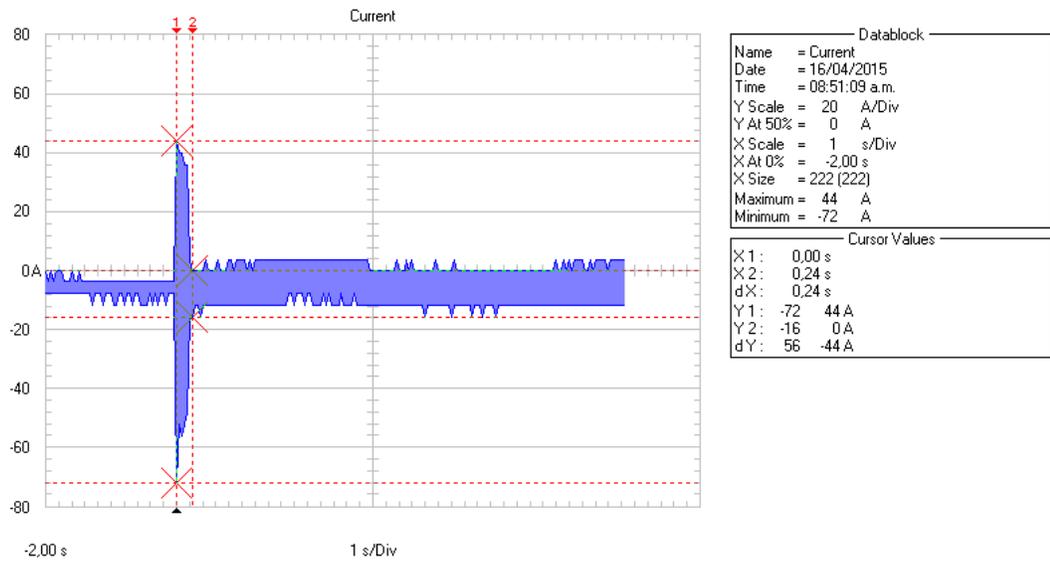


Figura A9.8.22 Arranque registrado en el extractor 3E10

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

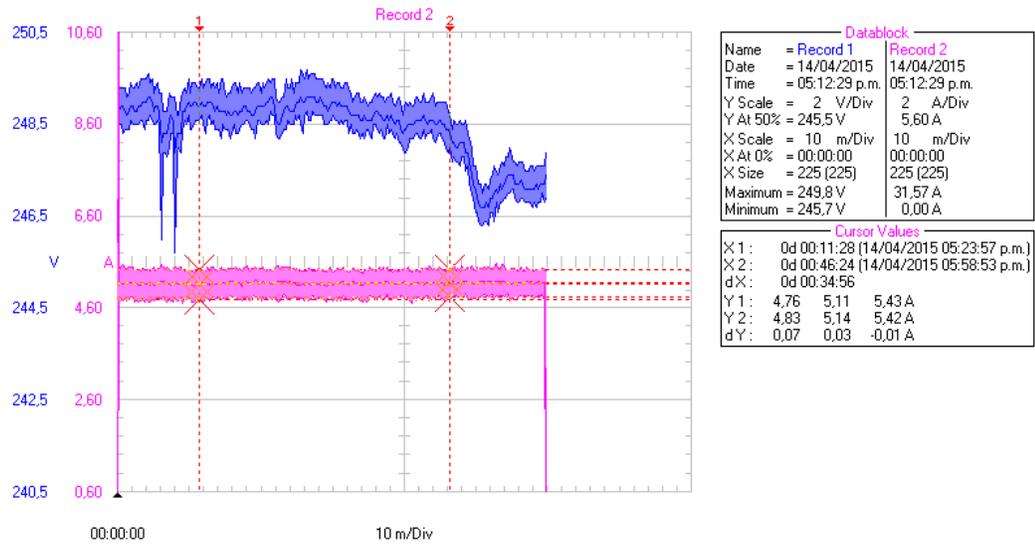


Figura A9.8.23 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

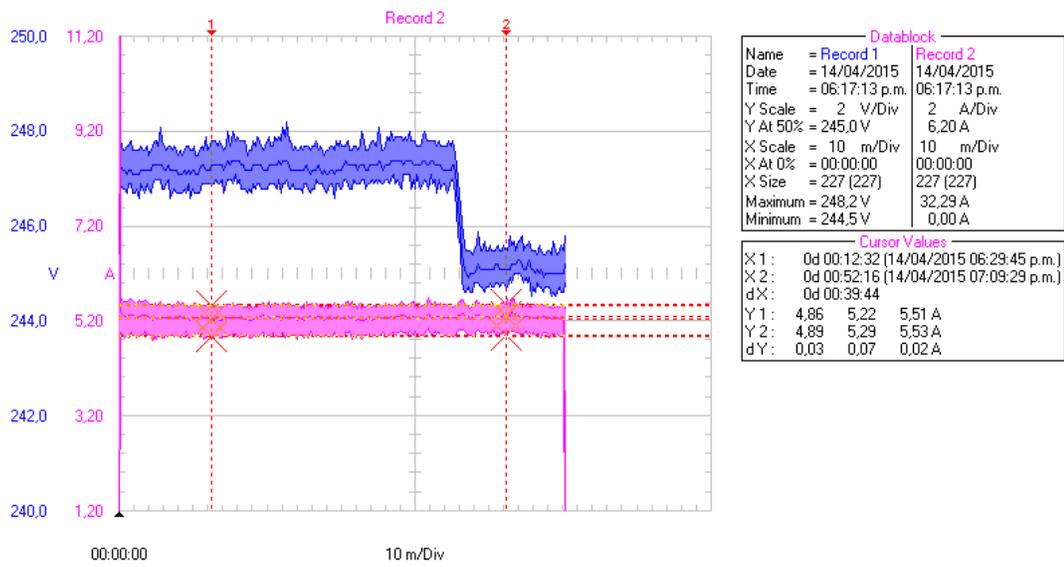


Figura A9.8.24 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E02

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

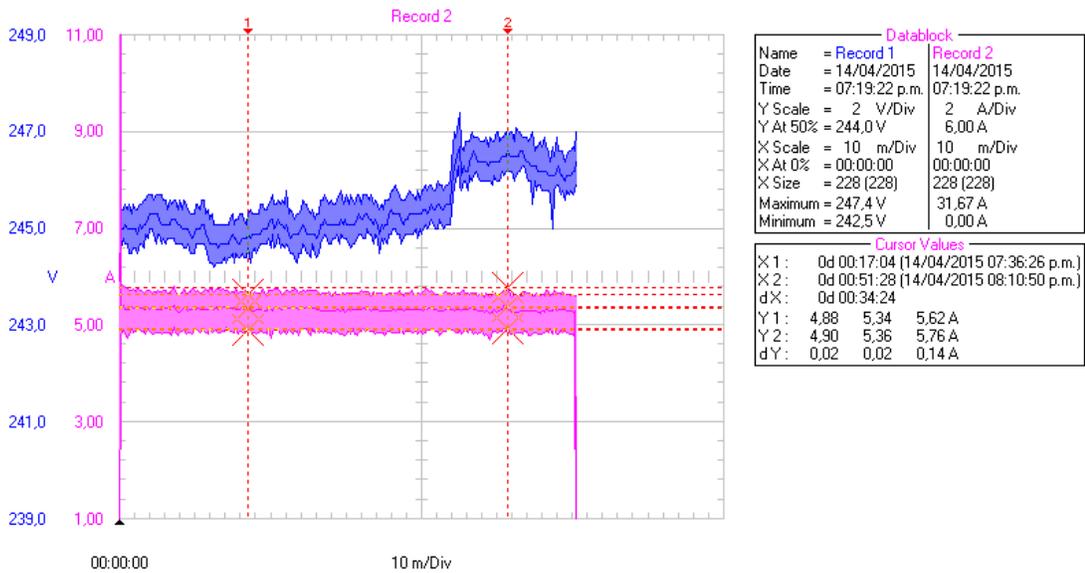


Figura A9.8.25 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E10

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

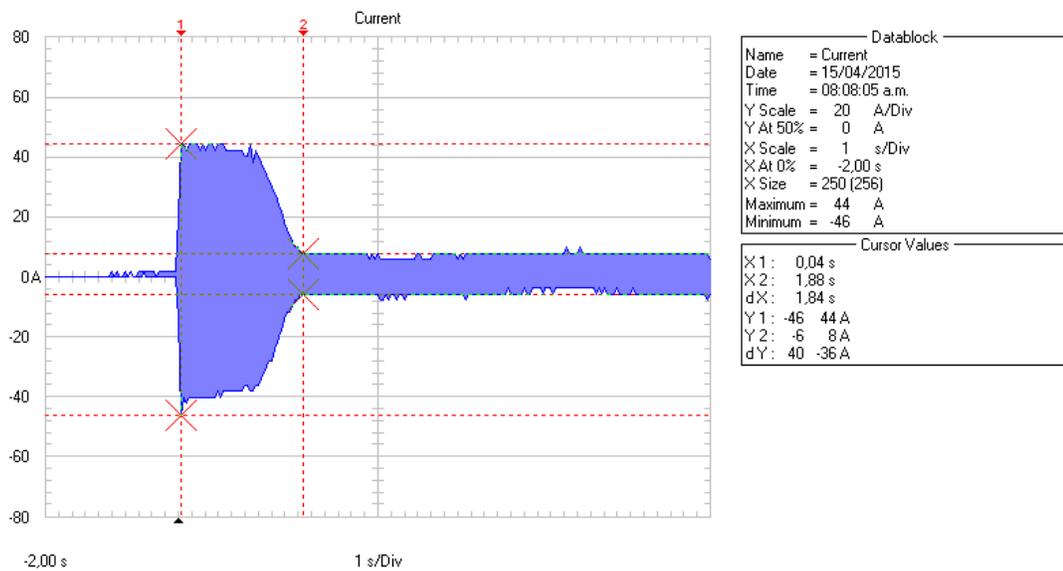


Figura A9.8.26 Arranque registrado en el extractor 4E10

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

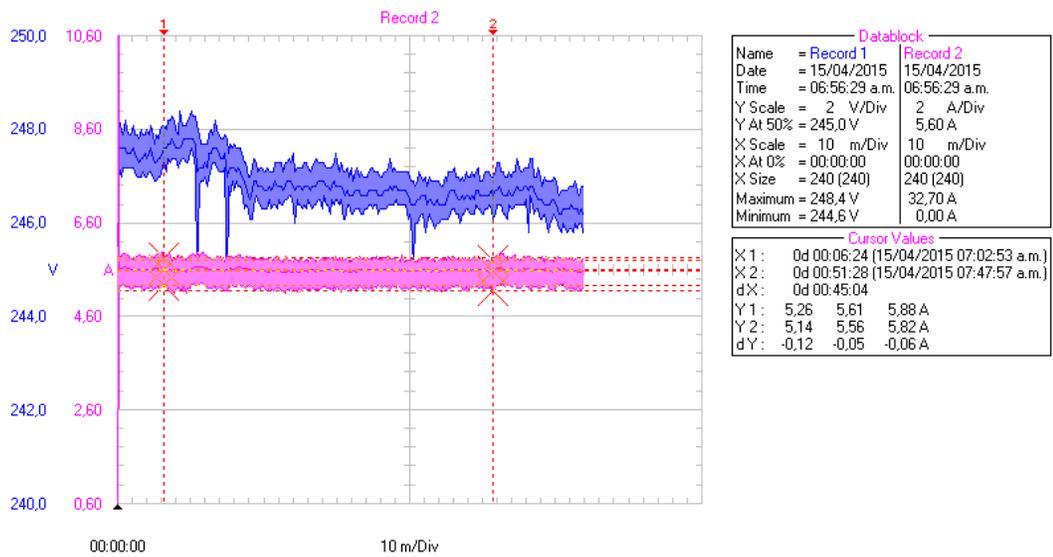


Figura A9.8.27 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E12

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

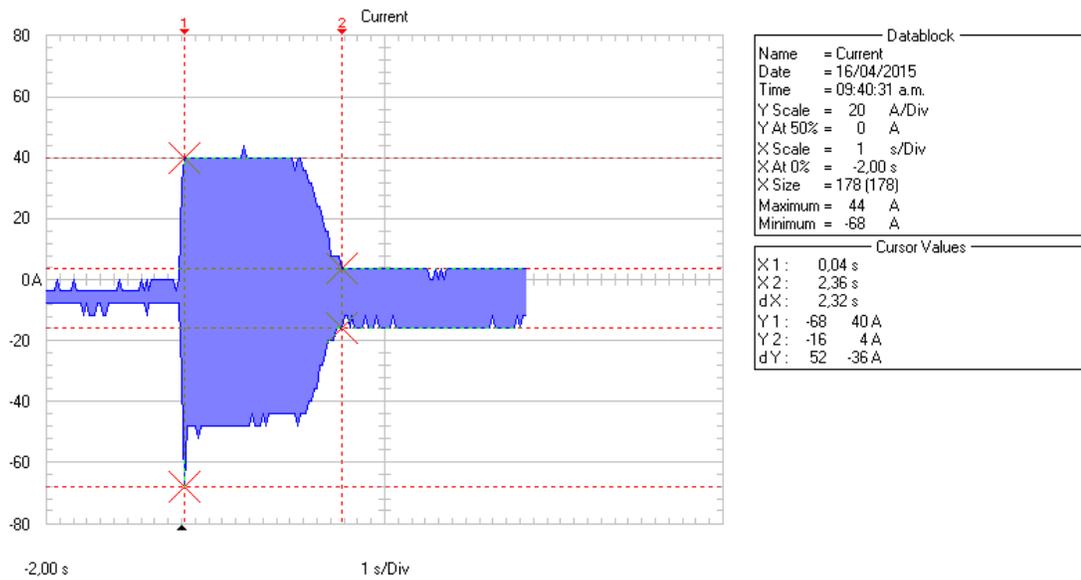


Figura A9.8.28 Arranque registrado en el extractor 4E12

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

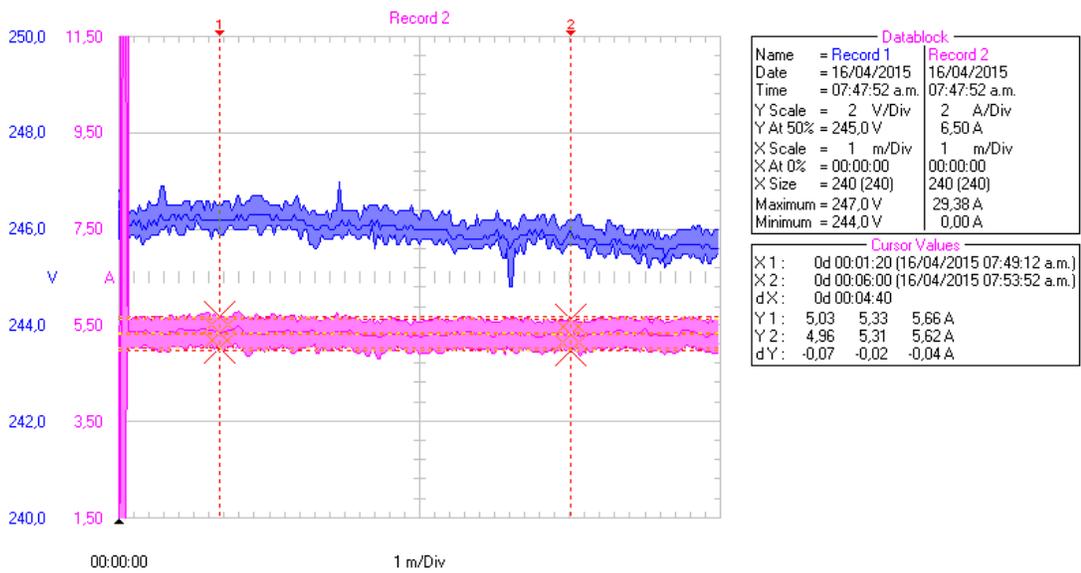


Figura A9.8.29 Fluctuaciones registradas en el extractor 4E13

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

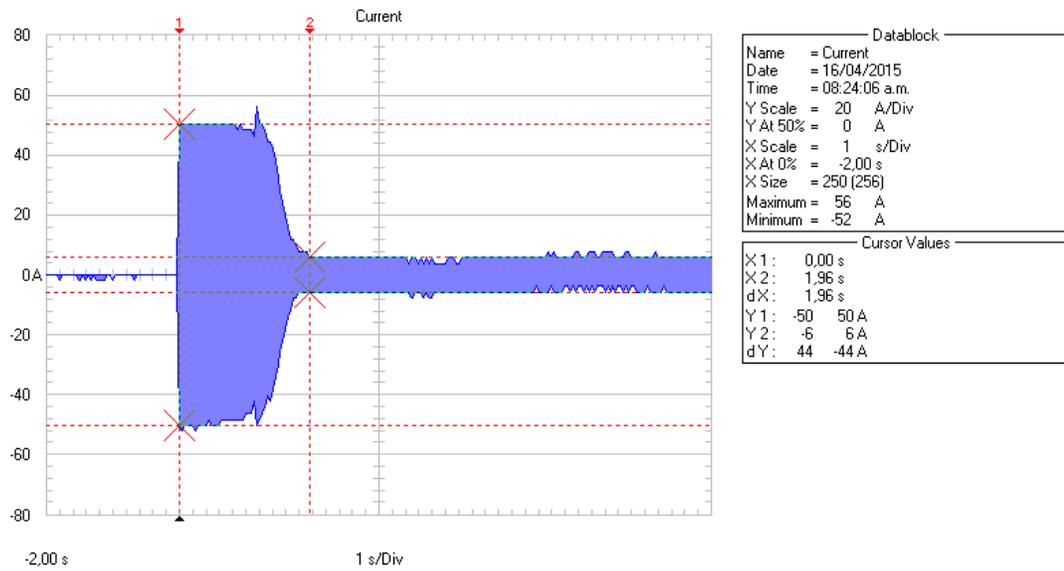


Figura A9.8.30 Arranque registrado en el extractor 4E13

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

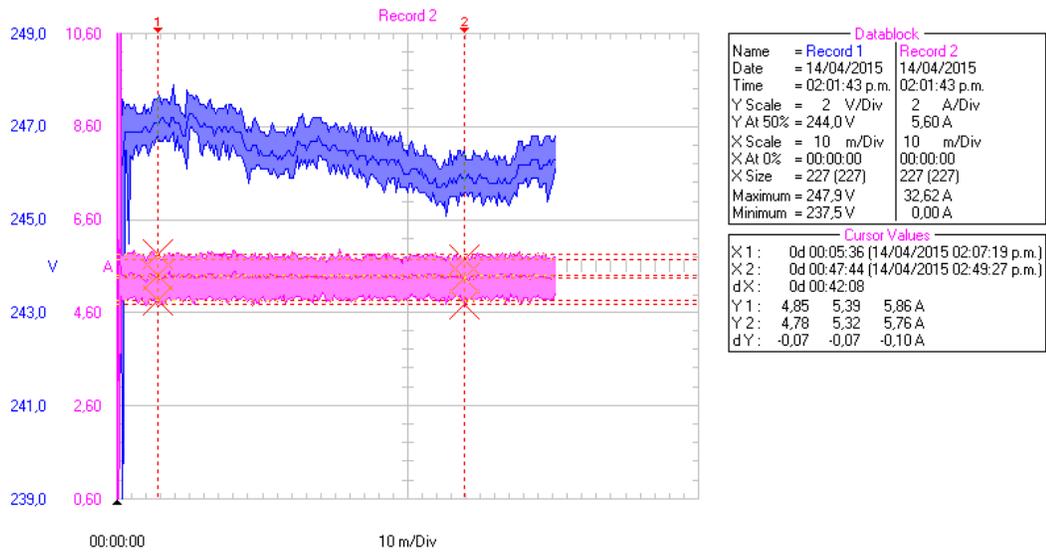


Figura A9.8.31 Fluctuaciones registradas en el extractor 5E01

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

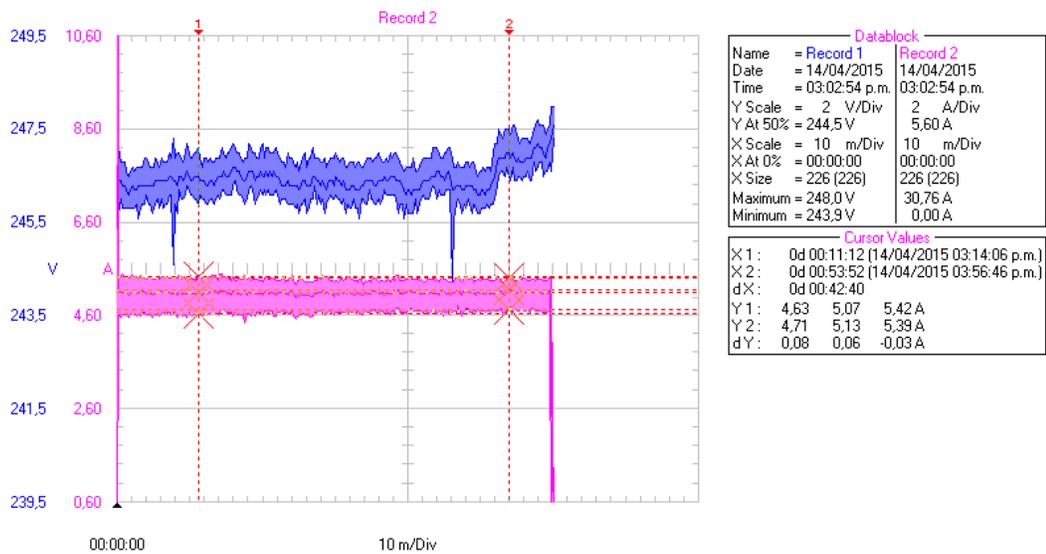


Figura A9.8.32 Fluctuaciones registradas en el extractor 5E02

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

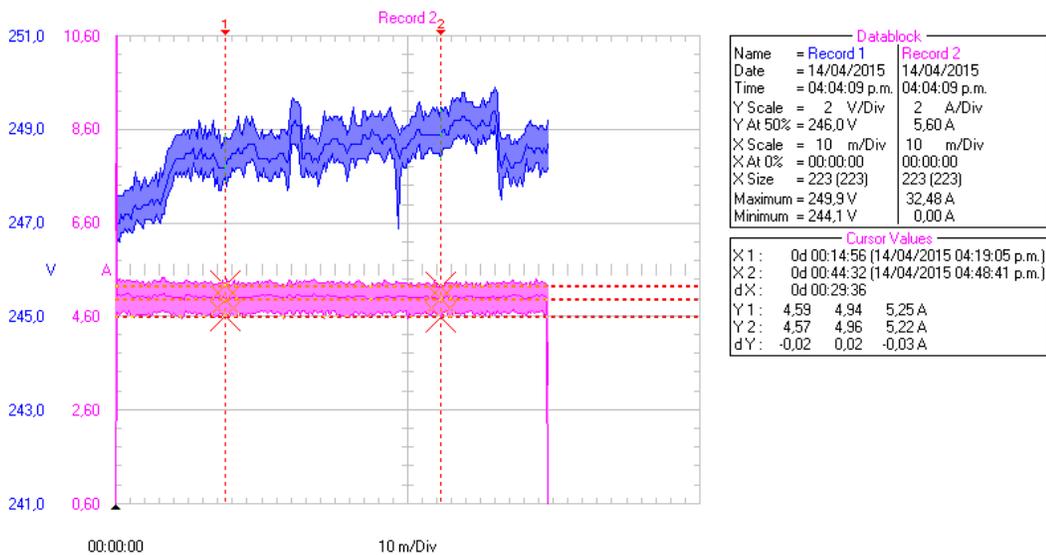


Figura A9.8.33 Fluctuaciones registradas en el extractor 5E03

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

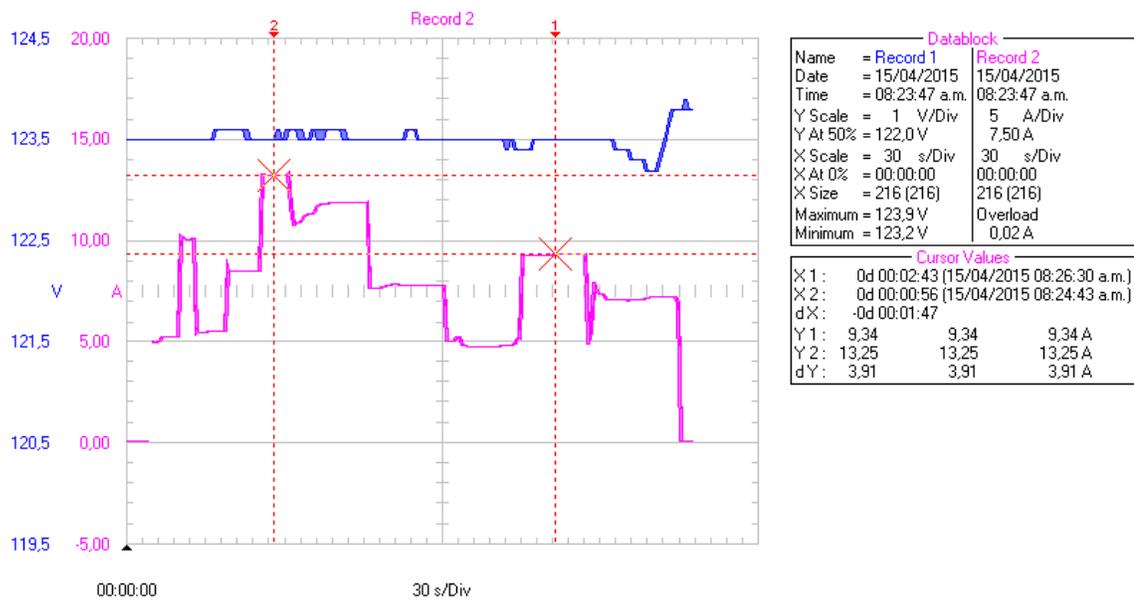


Figura A9.8.34 Corriente en el cable a tierra durante el encendido y apagado de las luces en la granja
Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

9.9 Eficiencia de Extractores



Poultry & Industrial Suppliers, Inc.

12201 S.W. 132 Court, Miami, FL 33186
 Tel. (305) 254-6003 Fax, (305) 251-7456, (305) 251-7457
 www.pis-miami.com ☒ E-Mail: poultry@pis-miami.com

DETALLE No. 19860 - I4

TO: CORPORACION PIPASA DATE: 20-JAN-14
 ATTN.: GRANJA LOS ALPES OUR REF.: 19860-CR-ER
 TERMS: 50% CON LA ORDEN & 50% DOS SEMANAS ANTES DE LA FECHA DE CARGA

Quantity	Part No.	Descripcion	Amount
----------	----------	-------------	--------

*** SISTEMA DE VENTILACION "CHORE-TIME" PARA POLLO DE ENGORDE ***

NUMERO DE GALPONES:	2	NUMERO DE AVES:	28,800
ANCHO DE GALPON:	52.49 FT - 16.00 MTS	CAMBIO/AIRE MAX:	32 SEG
LARGO DE GALPON:	328.00 FT - 100.00 MTS	VELOC. DEL AIRE:	606 PPM
ALTURA DE CIELO:	14.76 FT - 4.50 MTS	FLUJO/AIRE MAX:	354,900 CFM
ALTURA DE PARED LATERAL	7.54 FT - 2.30 MTS	@ 0.10" DE COLUMNA DE AGUA	
PESO MAXIMO/AVE:	4.4 LBS	RENDIMIENTO:	18.2 CFM/WATT

*** VENTILADORES PARA TUNEL ***

13	49511-21U	VENTILADOR S2", VANGUARD CONO SW, FAJA Y POLEA MOTOR DE 1.5 HP, 1PH-60Hz-230V, SIN ENSAMBLAR.	9,745.45
----	-----------	--	----------

Figura A9.9.1 Características nominales de extractores

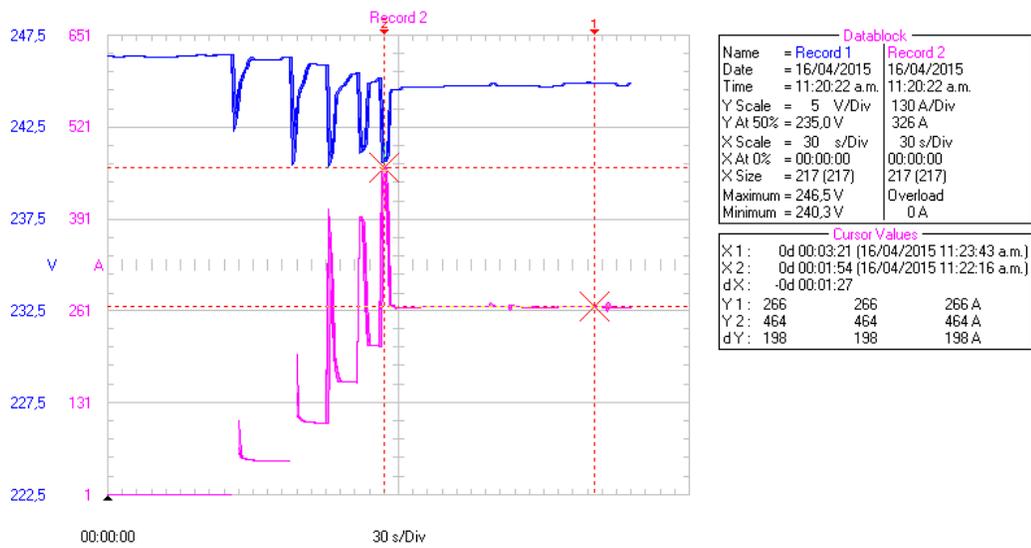


Figura A9.9.2 Consumo energético de la granja con los extractores encendidos

Fuente: elaboración propia utilizando Fluke View Power Quality Analyzer 3.34.1.

Tabla 9.9.1 Corriente demandada por todos los extractores de la granja

Galpones	Carga Total (A)	Carga (A)	Extractor (A)
1	48	48	4,36
2	101	53	4,82
3	159	58	5,27
4	212	53	4,82
5	266	54	4,91
Promedio			4,84

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010. Datos obtenidos de Figura A9.9.1.

Tabla 9.9.2 Volumen desplazado y eficiencia de extractores

Extractor	Velocidad (rpm)	Volumen (m ³)	Corriente (A)	Potencia (kW)	Costo/hora (¢)	Eficiencia (m ³ /s)/kW
1E01	508,00	13,53	4,52	1084,80	86,78	12,47
1E02	515,40	13,73	4,58	1099,20	87,94	12,49
1E03	498,00	13,26	4,47	1072,80	85,82	12,36
1E07	494,90	13,18	4,05	972,00	77,76	13,56
1E10	499,00	13,29	3,90	936,00	74,88	14,20
1Ex	503,06	13,40	4,30	1032,96	82,64	12,97
2E01	508,60	13,55	4,24	1017,60	81,41	13,31
2E02	496,90	13,23	4,03	967,20	77,38	13,68
2E03	500,50	13,33	4,09	981,60	78,53	13,58
2E08	503,30	13,40	4,44	1065,60	85,25	12,58
2Ex	502,33	13,38	4,20	1008,00	80,64	13,27
3E01	545,00	14,52	4,80	1152,00	92,16	12,60
3E02	548,60	14,61	5,11	1226,40	98,11	11,91
3E03	530,80	14,14	4,84	1161,60	92,93	12,17
3E06	536,60	14,29	4,90	1176,00	94,08	12,15
3E10	427,70	11,39	3,46	830,40	66,43	13,72
3Ex	517,74	13,79	4,62	1109,28	88,74	12,43
4E01	557,10	14,84	5,11	1226,40	98,11	12,10
4E02	554,60	14,77	5,29	1269,60	101,57	11,63
4E10	559,70	14,91	5,34	1281,60	102,53	11,63
4E12	560,50	14,93	5,56	1334,40	106,75	11,19
4E13	557,30	14,84	5,33	1279,20	102,34	11,60
4Ex	557,84	14,86	5,33	1278,24	102,26	11,62
5E01	557,50	14,85	5,32	1276,80	102,14	11,63
5E02	561,30	14,95	5,07	1216,80	97,34	12,29
5E03	559,00	14,89	4,96	1190,40	95,23	12,51
5Ex	559,27	14,90	5,12	1228,00	98,24	12,13
Promedio	526,38	14,02	4,70	1128,11	90,25	12,43

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Tomando en cuenta que la corriente promedio obtenida al accionar 11 extractores de cada galpón (Figura 9.9.1) y que, según Zulovich y Harner (2008), un extractor como el analizado (con una capacidad de 27300 CFM a 0,1in_{H2O}) tiene la capacidad de trasegar 30800 CFM a presión ambiental, se calcula el volumen trasegado por los extractores para las velocidades registradas.

Tabla 9.9.3 Eficiencia promedio de los extractores por galpón

Galpón	Velocidad (rpm)	Volumen (m ³ /s)	Corriente (A)	n (m3/s)/kW
1	503,06	13,40	4,36	12,79
2	502,33	13,38	4,82	11,57
3	517,74	13,79	5,27	10,90
4	557,84	14,86	4,82	12,85
5	559,27	14,90	4,91	12,64
Promedio	528,05	14,06	4,84	12,15

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010. Datos obtenidos de Figura A9.9.1.

Con el fin de calcular el cambio generado por un adecuado estado del elemento tensor en la faja de transmisión de potencia se evalúa la corriente demandada y volumen desplazado por los extractores en los galpones 1, 2 y 3, y se compara su rendimiento con un sistema tensado adecuadamente, como se encuentran los extractores en los galpones 4 y 5. De este modo, con los datos promedio de extractores antiguos y nuevos (tabla 9.9.4) y las ecuaciones 9.9.1 y 9.9.2, se calculan la eficiencia y el ahorro proyectado al darle mantenimiento a la tensora.

$$V (m^3) = t(h) \dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right) \frac{60 * 60 (s)}{1 (h)} \quad \text{EC 9.11.1}$$

$$t(h) = V (m^3) \frac{1}{\dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right)} \frac{1 (h)}{60 * 60 (s)} \quad \text{EC 9.11.2}$$

Tabla 9.9.4 Caudal y corriente promedio de galpones antiguos y nuevos

Galpones	V (m3/s)	I (A)	n (m3/s)/kW
1,2,3	13,39	4,59	12,15
4,5	14,88	4,86	12,75

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010. Datos obtenidos de Figura A9.9.1..

Tabla 9.9.5 Horas de funcionamiento, eficiencia y ahorro estimado por galpón

Extractor	T ₀ (h)	Energía (kWh)	Volumen (m ³)	T ₁ (h)	Energía (kWh)	Ahorro (¢)
1	744,00	819,59	35863776,00	669,50	780,90	3094,85
2	632,40	696,65	30484209,60	569,08	663,77	2630,62
3	480,00	528,77	23137920,00	431,94	503,81	1996,68
4	456,00	502,33	21981024,00	410,34	478,62	1896,84
5	426,00	469,28	20534904,00	383,34	447,13	1772,05
6	402,00	442,84	19378008,00	361,75	421,94	1672,22
7	324,00	356,92	15618096,00	291,56	340,07	1347,76
8	288,00	317,26	13882752,00	259,16	302,29	1198,01
9	264,00	290,82	12725856,00	237,56	277,10	1098,17
10	180,00	198,29	8676720,00	161,98	188,93	748,75
11	180,00	198,29	8676720,00	161,98	188,93	748,75
Total	4376,40	4821,04	210959985,60	3938,17	4593,48	18204,69

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010. Datos obtenidos de Figura A9.9.1..

Realizar mantenimiento en la tensora del sistema representaría un ahorro de ¢18205 para cada parvada por galpón. A este ahorro, debe sumársele que se contará con una capacidad 11% mayor para desplazar aire, y de igual manera un incremento en la velocidad; esto permitirá una mayor capacidad para mantener las condiciones de confort térmico en las aves durante mayor tiempo, lo que repercute la tasa de conversión de las aves y la eficiencia global de la parvada.

El mantenimiento del sistema tensor consiste en limpiar y lubricar la polea tensora del sistema. La inversión necesaria para realizar el mantenimiento en los extractores de los galpones 1, 2 y 3 se resume a continuación:

Mano Obra

Peones	2
Días	10
Costo (¢)	220000

Materiales

Grasa (¢)	2000
Roles (¢)	28800

Total (¢) 250800

Los roles tienen un costo unitario de ¢3200. En el presupuesto se proyecta el cambio de 3 por galera, en caso de que se encuentren defectuosos.

Retorno de Inversión

$$RI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}}$$

$$RI = \frac{250800\text{¢}}{3 \text{ Galpones}} \frac{\text{Parvada_Galpón}}{18204,69 \text{ ¢}} \frac{1 \text{ Parvada}}{3 \text{ Galpones}} \frac{1 \text{ año}}{6 \text{ parvadas}}$$

$$RI = 0,76 \text{ años}$$

La inversión necesaria para darle mantenimiento al sistema de transmisión de potencia en los extractores se recupera en 9 meses.

9.10 Cálculo de vida de cojinetes

Cálculo de Torque generado por motor MARATHON ELECTRIC modelo 5KCR48WN0581CT.

$$T(Nm) = 9,5488 \frac{P(W)}{n (rpm)} \quad \text{EC 9.9.1}$$

$$T(Nm) = 9,5488 \frac{1,5 \text{ HP} \times 746 \text{ W/HP}}{1725 \text{ rpm}}$$

$$T = 6,194265 \text{ Nm}$$

Fuerza radial debido al torque en el eje

$$F_R = \frac{T}{r} = \frac{6,194265}{0,00925} = 669,65 \text{ N}$$

Reacciones en los cojinetes debidas a la fuerza radial generada por el torque (Punto A soportado por el cojinete 6203-2RS, punto B por cojinete 6304-2RSC3):

$$\sum M_A = -15F + 23 R_{Bz} = 0$$

$$R_{Bz} = \frac{15F}{23} = \frac{15 \times 669,65}{23} = 436,728 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -W + R_{Bz} + R_{Az} = 0$$

$$R_{Az} = 232,922 \text{ N}$$

Reacciones en los cojinetes debidas al peso del rotor:

$$\sum M_A = -13W + 23 R_{By} = 0$$

$$R_{By} = \frac{13W}{23} = \frac{13 \times 49}{23} = 27,69N$$

$$\sum F_y = -W + R_{By} + R_{Ay} = 0$$

$$R_{Ay} = 21,30N$$

Carga radial Equivalente

$$R_{Az} = 232,922N$$

$$R_{Ay} = 21,30N$$

$$R_A = 233,894N$$

$$R_{Bz} = 436,728N$$

$$R_{By} = 27,69N$$

$$R_B = 437,605N$$

Cálculo de fuerzas recibidas por la chumacera

Fuerza en la polea tangencial en polea superior:

$$F_f = \frac{T_m}{r} = \frac{6,194265 \text{ Nm}}{\frac{0,0741}{2} \text{ m}} = 167,1866N$$

Torque transmitido al eje del ventilador:

$$T_v = F \times r = 167,1866N \times \frac{0,2342}{2} \text{ m} = 19,5775Nm$$

Fuerza en eje de ventilador:

$$F_v = \frac{T_v}{r} = \frac{19,5775 \text{ Nm}}{\frac{0,025}{2} \text{ m}} = 1566,2 \text{ N}$$

Reacciones en las chumaceras debidas a la fuerza radial generada por el torque (Punto A y B soportados por UCP 205-16):

$$\sum M_A = 82,5F_v - 105 R_B = 0$$

$$R_B = \frac{82,5F_v}{105} = \frac{82,5 \times 1566,2}{105} = 1230,5857N$$

$$\sum F_y = F_v + R_B + R_A = 0$$

$$R_A = 335,6143N$$

Tomando en cuenta que el motor gira a 1725 rpm, el ventilador a 545,78 rpm, que el extractor 1 de cada galpón funciona aproximadamente 744 horas por parvada (apéndice 9.6) y que se realizan 6 parvadas por año, se calcula la vida útil estimada de los cojinetes. Para esto se utiliza la ecuación 9.10.2

$$L = 10^6 \left(\frac{C_n}{F_a} \right)^3 \left(\frac{1 \text{ min}}{1725 \text{ rev}} \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \frac{1 \text{ parvada}}{744 \text{ h}} \frac{1 \text{ año}}{6 \text{ parvada}} \right) \quad \text{EC 9.10.2}$$

Siendo C_n la carga nominal, F_a la carga aplicada y L la vida en años.

Tabla 9.9.1 Vida útil calculada para cojinetes

Cojinete	C (N)	F (N)	L (rev)	L (Años)
6304-2RSC3	15900	437,605	4,80E+10	103,82
6203-2RS	9560	233,894	6,83E+10	147,79
UCP 205-16	14000	1230,5857	1,47E+09	10,07

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

9.11 Cálculo de Aislante

El aislante en los galpones 1, 2 y 3 se encuentra en mal estado, lo que genera un alto calentamiento de la instalación debida a la radiación solar.

PRODUCTO		
AISLANTE AD (Doble Cara Aluminio - Barrera contra Fuego)		
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA		
CARACTERÍSTICA	VALOR	NORMA
ESTRUCTURA Y CELDA ESPUMA	Cerrada	-
DENSIDAD DE ESPUMA	20-30 kg/m ³	ASTM 1622
PERMEABILIDAD AL AGUA ESPUMA	Impermeable	Dir. UEAtc
PERMEABILIDAD AL VAPORES DE AGUA DE LA ESPUMA	0.033 g/m ² hkPa	ASTM E 96/IRAM 1735
PERMEABILIDAD A LOS RAYOS DE LUZ DE LA ESPUMA	52-63 %	-
RESISTENCIA AL DESGARRE	16 lb/pulg.	ASTM 3575
RESISTENCIA AL OZONO ESPUMA	No hay agrietamiento Rating 0	ASTM D 1171
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ESTRUCTURA	0.035 a 0.045 W/m °C	ASTM C518
INDICE FLAMA	0	ASTM E-84-99
INDICE HUMO	15	ASTM E-84-99
RESISTENCIA TÉRMICA (Factor R) (Heat Flow Down)	15.67 °Fft ² h/Btu	ASTM C-236
WVTR (Tasa de transmisión de vapor de agua) DEL ALUMINIO	1.08 g/m2/dia	WVTR @ 1atm/38° C/ 90% HR
OTR (Tasa de transmisión de oxígeno) DEL ALUMINIO	0.15 cm3/m2/dia	OTR @ 1 atm/23° C/ 0% HR
PRINCIPALES USOS		
<ul style="list-style-type: none"> Su principal uso es como aislante térmico para techos, el tiene capacidad de ahorro energético. También funciona como aislante acústico. 		
VENTAJAS DEL PRODUCTO		
<ul style="list-style-type: none"> Protección de impacto y vibraciones gracias al excelente acondicionamiento de nuestra celda cerrada Protege de la humedad y del polvo en un 100%. No contiene partículas de carbón ni de metal y no es corrosivo. Durable, resistente, abrasivo, liviano e higiénico. Es un producto con gran capacidad elástica. Libre de CFC, para proteger el ambiente. 		

Figura A9.11.1 Especificación Técnica de Aislante Prodex AD10

Siendo el calor transmitido,

$$\dot{Q} = \frac{A\Delta T}{R} \quad \text{EC 9.11.1}$$

Donde A es el área en ft², ΔT la diferencia de temperatura entre el interior del galpón y el techo en °F, y R la resistencia térmica del aislante, según la ficha técnica 15,67 F ft² h/Btu

Con las conversiones

$$1 W = 3,412141633 \frac{Btu}{h} \quad EC 9.11.2$$

$$1m = 3,28084 ft \quad EC 9.11.3$$

$$T(^{\circ}C) = (T(^{\circ}F) - 32) \frac{5}{9} \quad EC 9.11.4$$

Del día 28 de parvada en adelante, se recomienda una temperatura de galpón de 22°C (294,15 K). Un día a 23,8 °C de temperatura ambiente, el techo alcanza los 65 °C. El diferencial de temperatura es 43 °C. Con estos datos se calcula el calor que está ingresando al galpón debido al mal estado del aislante.

Con los valores de volumen específico, calor específico, calor transmitido y volumen se calcula la temperatura que se incrementa por segundo. Además, tomando en cuenta el tiempo de renovación de aire por galpón se calcula el incremento de temperatura por ciclo.

$$v@_{294,15K} = 0,01525172 \frac{m^3}{kg} \quad EC 9.11.5$$

$$C_p = 1,005 \frac{kJ}{kgK} \quad EC 9.11.6$$

$$T (K) = \frac{v}{C_p} Q \frac{1}{V} t \quad EC 9.11.4$$

Tabla 9.12.1 Volumen desplazado y eficiencia de extractores

Galpón	1	2	3
Área (m ²)	2038,07	1879,08	1729,98
Calor (W)	31756,63	29279,20	26956,03
Volumen (m ³)	6849,36	6318,00	5811,26
Cambio de aire (s)	48,33	44,58	41,00
Aumento (°C)	3,40	3,14	2,89

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010..

Tomando en cuenta que los galpones están programados para encender un extractor por cada medio grado que se exceda la temperatura óptima. La deficiencia en el aislante representa el arranque de entre 5 y 6 extractores más por galpón durante las horas de mayor incidencia solar.

Dado que son 27 los días de ventilación por túnel y durante el día se reciben entre 5 y 6 horas de la mayor radiación solar, reduciendo el uso de 5 extractores 5,5 horas cada día durante este periodo, se reducen las horas de uso de extractores de 4376,4 horas a 3633,9 horas. Esto representa un ahorro de $\text{€}69284,16$ por parvada.

Además del ahorro económico debe tomarse en cuenta que el déficit de un aislante adecuado está afectando el confort de las aves; en ocasiones, la totalidad de los extractores encendidos no logra extraer el calor necesario en los galpones más antiguos. Esto genera un estado de estrés en los pollos que reduce su tasa de transformación, afectando en gran medida los ingresos finales.

El proceso de cambiar el aislante es bastante complicado, debido a que para realizarlo debe quitarse el techo actual, instalar el nuevo aislante y volver a colocar el techo. A los esfuerzos a los que serán sometidos las láminas de vitro-aluminio, debe sumarse el hecho de que solo se cuenta con 20 días para realizar este trabajo, en los cuales al mismo tiempo se deben realizar las tareas de preparación para recibir la nueva parvada. Los costos de cambiar el aislante se detallan a continuación:

Mano Obra	
Peones	3
Constructor	1
Días	20
Costo (€)	960 000
Materiales	
Aislante (€)	3 000 000
Materiales (€)	100 000
Total (€)	4 060 000

Retorno de Inversión

$$RI = \frac{\textit{Inversión}}{\textit{Ahorro}}$$

$$RI = 4060000\text{¢} \frac{\textit{Parvada}}{69284,16\text{ ¢}} \frac{1\text{ año}}{6\text{ parvadas}}$$

$$RI = 9,77\text{ años}$$

La inversión necesaria para cambiar el aislante de un galpón se recupera en 9,77 años.

9.12 Instalación de Techo Falso

Volumen Reducido de Galpón

Tabla 9.12.1 Volumen desplazado y eficiencia de extractores

Galpón	1	2	3	4	5
Volumen (m ³)	6849,36	6318	5811,264	5368	4938,56
Volumen Reducido (m ³)	4650,8	4290	3945,92	3616	3326,72
Reducción	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33
Cambio Aire V ₀ (s)	48,33	44,58	41,00	32,05	29,48
Cambio Aire V ₁ (s)	32,82	30,27	27,84	21,59	19,86
Reducción %	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

El tiempo necesario para renovar el aire y la disminución del volumen comparten una relación lineal. Por esto, el cambio de aire se realizaría en un tiempo 32% menor al actual.

El tiempo de operación de cada extractor por parvada también se verá reducido. Los extractores lograrán mantener la temperatura óptima por más tiempo, ya que deben mover menos volumen de aire caliente; además, la carga térmica procedente de la radiación del sol por el mal estado del aislante se ve disminuida, quedándose la mayoría de esta energía en la parte superior del galpón. A estos factores se le suma el aumento en eficiencia debida al mantenimiento que se realizará en el sistema de transmisión de potencia. La tabla 9.12.2 resume la disminución en horas de operación de extractor que representa cada mejora y el ahorro final esperado, por parvada.

Tabla 9.12.2 Disminución de horas extractor y ahorro proyectado por el techo falso

	Reducción (h)	Uso (h)	Consumo (kWh)	Costo (¢)
Uso Actual		4376,40	4821,04	385683,38
Tensora	438,23	3938,17	4593,48	367478,68
Techo Falso	1260,21	2677,96	3123,57	249885,51
Aislante	742,50	1935,46	2257,52	180601,35
Ahorro	2440,94	2440,94	2563,53	205082,03

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

El ahorro proyectado es del 53,2% del consumo actual de energía de los extractores por parvada, es decir, 2563,53 kWh. Esto representa ¢205 082.

En ocasiones el uso del total de extractores no era suficiente para dotar a los pollos de una temperatura cercana a su zona de confort. Esta situación causa estrés en las aves y, por ello, repercute en una disminución de la tasa de conversión. El cambio propuesto permite dotar al pollo del ambiente que requiere; de este modo, se promueve una mejora en la tasa de conversión del pollo; se generan más ganancias y se aumenta la eficiencia de kg generados por kWh utilizado.

En cuanto a la operación normal de la parvada, la disminución del volumen permite retrasar el encendido de los extractores, ya que se requiere menor cantidad de estos para renovar la totalidad del aire en el galpón. Con esto, se mantiene la temperatura óptima por más tiempo sin necesidad de incluir los otros extractores.

Retorno de Inversión

Los costos asociados a la instalación del techo falso representan ¢6 000 000, desglosados en la tabla 9.12.3

Tabla 9.12.3 Costos asociados a instalación de techo falso

Estructura metálica	
Materiales	1025000
Mano Obra	717500
Total (¢)	1742500
<hr/>	
Aislante	1600 ¢/m ²
Prodex (¢)	2800000
<hr/>	
Alfajilla	2300 ¢ c/u
Cantidad	300
Alfajilla (¢)	690000
<hr/>	
Cabrestante	70000¢ c/u
Cantidad	4

Cabrestante(¢)	280000
Elementos de Unión	
Tornillería	34000
Cintas	16000
E.Unión (¢)	50000
Mano de Obra	
2 Obreros	
1 Constructor	
15 días	
M. Obra (¢)	610500
Back Up	437500
Total (¢)	6 000 000

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010..

Retorno de Inversión

$$RI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} = 6000000\text{¢} \frac{\text{Parvada}}{205082,03\text{¢}} \frac{1 \text{ año}}{6 \text{ parvadas}}$$

$$RI = 4,88 \text{ años}$$

La inversión necesaria para instalar el techo falso en un galpón tiene un tiempo de retorno de 4,88 años. Sin embargo, a esto debe sumarse que al mejorar la capacidad de ventilación en el galpón y asegurar el estado de confort de los pollos, mejorarán la tasa de conversión alimenticia generando mayores ganancias. Además, al tener mayor capacidad para mantener los pollos en su zona de confort, PIPASA aumentará la densidad de pollo por metro cuadrado permitido en el galpón, generando así mayor producción por parvada en las épocas de mayor demanda.

La densidad máxima actual es de 18,5 pollos por metro cuadrado; según el inspector de la granja, con los cambios propuestos la granja podría administrarse con una densidad de 19 pollos/m². Este cambio generaría ganancias por ¢707 000.

Proyectando dos parvadas al año con la máxima densidad posible, la inversión se recuperaría en 2,3 años.

Ganancias generadas por aumento de densidad

$$Ganancias (\text{¢}) = 8739,69 \text{ m}^2 \frac{0,5 \text{ pollo}}{\text{m}^2} \frac{161,95 \text{ ¢}}{\text{pollo}} = 707\,696,42$$

A continuación se muestran fotos de un techo falso que se está instalando en una granja ubicada en Río Cuarto.



Figura A9.12.1 Instalación de techo falso en granja avícola en Río Cuarto

Fuente: fotografías propias.

9.13 Parvadas

Tabla 9.13.1 Fechas de ingreso de parvadas a la granja

Galpón/Año	1	2	3	4	5
2012	14-dic	14-dic	15-dic	NC	NC
2013	18-feb	18-feb	17-feb	NC	NC
2013	20-abr	20-abr	21-abr	NC	NC
2013	22-jun	22-jun	22-jun	NC	NC
2013	25-ago	26-ago	26-ago	NC	NC
2013	27-oct	28-oct	28-oct	NC	NC
2013	26-dic	26-dic	26-dic	NC	NC
2014	05-mar	06-mar	05-mar	NC	NC
2014	08-may	09-may	11-may	11-may	11-may
2014	07-jul	07-jul	06-jul	06-jul	07-jul
2014	10-sep	10-sep	09-sep	11-sep	11-sep
2014	06-nov	07-nov	07-nov	09-nov	09-nov
2015	02-ene	02-ene	01-ene	01-ene	01-ene
2015	02-mar	01-mar	01-mar	27-feb	01-mar

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

Al analizar el consumo energético registrado en los últimos años (Figura 4.1) y compararlo con la Tabla 9.13.1, se puede observar cómo los meses en que se obtuvo un consumo regular corresponden a las parvadas que ingresaron durante los días 20 del mes en cuestión. La tabla 9.13.2 muestra el consumo diario de energía para la parvada que ingreso el 27 de febrero del 2015 y el acumulado por día. Se puede observar como la mitad del consumo energético total se realiza durante los primeros 30 días de crecimiento, y la otra mitad del consumo se realiza en los últimos 10 días.

Tabla 9.13.2 Consumo eléctrico de acometida 1 para una parvada

Día	Fecha	Potencia (kW)	Consumo (kWh)	Porcentaje Acumulado
1	27/02/2015	2,68464	82,00596	0,29
2	28/02/2015	2,35824	82,00596	0,59
3	01/03/2015	6,26688	82,00596	0,88
4	02/03/2015	12,16656	126,37596	1,33
5	03/03/2015	7,20528	82,00596	1,62
6	04/03/2015	6,34032	78,91536	1,90
7	05/03/2015	6,74832	77,90556	2,18
8	06/03/2015	7,80912	80,1006	2,47
9	07/03/2015	5,9568	99,94368	2,82
10	08/03/2015	19,38	192,54336	3,51
11	09/03/2015	20,85696	173,78556	4,13
12	10/03/2015	13,17024	124,97652	4,58
13	11/03/2015	18,09072	266,9646	5,53
14	12/03/2015	36,76896	341,29608	6,75
15	13/03/2015	42,60336	426,84756	8,27
16	14/03/2015	41,28144	469,98948	9,95
17	15/03/2015	47,36064	516,85032	11,79
18	16/03/2015	20,75088	326,20416	12,96
19	17/03/2015	43,7376	494,57964	14,72
20	18/03/2015	46,82208	524,06172	16,59
21	19/03/2015	58,57248	621,90012	18,81
22	20/03/2015	57,7728	634,11768	21,07
23	21/03/2015	56,19792	650,98032	23,39
24	22/03/2015	64,668	709,86492	25,93
25	23/03/2015	77,59344	850,59636	28,96
26	24/03/2015	79,24176	923,32644	32,26
27	25/03/2015	79,12752	1046,37924	35,99
28	26/03/2015	82,17936	1153,39764	40,11
29	27/03/2015	84,65184	1270,50384	44,64
30	28/03/2015	84,72528	1390,90056	49,60
31	29/03/2015	79,79664	1278,41496	54,17
32	30/03/2015	83,24016	1295,70192	58,79
33	31/03/2015	81,48576	1297,08912	63,42
34	01/04/2015	80,26992	1451,94756	68,60
35	02/04/2015	81,26544	1537,85604	74,09
36	03/04/2015	83,29728	1468,27368	79,32
37	04/04/2015	80,4168	1479,50388	84,60
38	05/04/2015	80,23728	1378,10772	89,52
39	06/04/2015	80,23728	1468,27368	94,76
40	07/04/2015	80,23728	1468,27368	100,00

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2010.

9.14 Sistema de Emergencia

El sistema de emergencia es una planta trifásico Caterpillar, modelo D333 de 125 kW con capacidad para generar 417 A. La conexión actual esta desbalanceada. La carga completa es alimentada por dos fases; mientras la tercera está libre.

Esta situación desgasta la planta, y existe el peligro de que pueda fallar. A continuación, se adjunta la cotización realizada por Servicios Electromecánicos VIBO, empresa que suele dar mantenimiento a este equipo.

Servicios Electromecánicos VIBO

Efraín Alberto Villalobos Bolaños. Ced: 2-596-659. COTIZACION # 915

Teléfonos: 8733 83 39, 70 26 46 47, 24 94 69 06.

Dirección; 500 metros noroeste, 100 norte de recinto UCR, Tacaes, Grecia, Alajuela.

E-mail: efrain.vilbo@hotmail.com

Para: Carlos Brenes, William Alfaro

Atención: Srs. Carlos Brenes, William Alfaro.

Fecha: 13/05/2015 Expira 27/05/2015

E-mail: cbrenes2007@hotmail.com

PROTECCIONES Y AUTOMATISACION EN PLANTA CATERPILLAR 125 KW.

Cantidad	Descripción	Precio
1	Panel de control DSE completo e instalado	1 400 000
1	Transferencia automática DSE, 400 AMP, 240 VLTS TRIFASICA	2 250 000
	Total colones	3 650 000

NOTA: NO ESTA INCLUIDO MATERIALES PARA CONEXIÓN DE TRANSFERENCIA (cables eléctricos, tubos conduit, conectores etc.

El panel de control le protege la planta eléctrica en: sobre voltaje, bajo voltaje, sobre frecuencia, baja frecuencia, sobre carga, alta temperatura, bajo nivel de coolant (refrigerante radiador), baja presión de aceite, sobre velocidad.

Equipo nuevo y de calidad fabricado en Inglaterra y estados unidos.

Tipo de pago, 3 150 000 al inicio para compra de materiales y 500 000 al entregar trabajo.

Cuenta banco nacional 200-01-006-046791-9 cliente 15100620010467911

Entrega inmediata.