



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Evaluación de eficiencia energética para mejorar los indicadores de desempeño IDEn en la finca "La Cordillera" perteneciente al Cantón Mejía, Provincia de Pichincha”

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Magíster en Electricidad Mención
Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Jiménez Jiménez Diego David

Potes Valencia Paúl Wladimir

Tutor:

Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

2022

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación **“Evaluación de eficiencia energética para mejorar los indicadores de desempeño IDEn en la finca "La Cordillera" perteneciente al Cantón Mejía, Provincia de Pichincha”** presentado por Jiménez Jiménez Diego David y Potes Valencia Paúl Wladimir, para optar por el Título de Magíster en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, octubre, 20, 2021



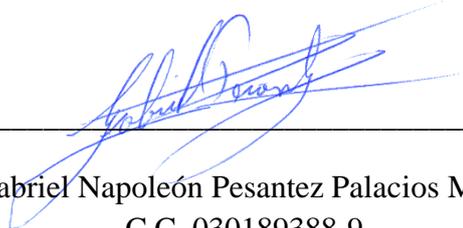
Xavier Alfonso Proaño Maldonado MSc.

C.C. 050265642-4

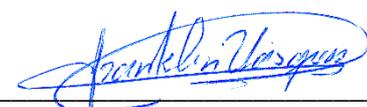
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Evaluación de eficiencia energética para mejorar los indicadores de desempeño IDEn en la finca "La Cordillera" perteneciente al Cantón Mejía, Provincia de Pichincha”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del Título de Magíster en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que los estudiantes puedan presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, febrero, 03, 2022



Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc.
C.C. 030189388-9
Presidente del tribunal



Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc.
C.C. 171043449-7
Lector 2



Jimmy Xavier Toaza Iza MSc.
C.C. 171762106-2
Lector 3

DEDICATORIA

Esta dedicatoria es en memoria de Lola Mercedes Jiménez Abad, madre amorosa, comprensiva, generosa y amable. Gracias a los valores practicados dentro del hogar me permitieron formarme como persona de bien con una fortaleza capaz de superar dificultades y alcanzar las metas proyectadas, e indudablemente su bendición siempre va a protegerme a lo largo de mi vida.

Diego...

DEDICATORIA

“Adquiere sabiduría, y con todo lo que poseas alcanza la inteligencia”

(Proverbios 4:7)

Dedico esta tesis primero a Dios y a la Virgen de Guadalupe por cubrirme con su manto sagrado.

A mis abuelos, Valencia Soria Vicente Benedicto e Hidalgo Carranza Teresa de Jesús, quienes me apoyan desde mi nacimiento y cuidan con su amor incondicional.

A mi madre Valencia Hidalgo Rosario Giovanna por su amor, comprensión y confianza brindada.

A mi tía Valencia Hidalgo Margoth del Rocío por ser una madre más, al brindarme su ayuda, cariño, consejos y vivencias.

A mis demás familiares que constantemente me han ayudado y deseado éxitos en la vida.

A mi amada, Padilla Choca Paola Jaqueline por el amor sincero que nos une, y al ser la inspiración para mejorar cada día.

Finalmente, y no por ello menos importante, dedico la presente investigación a mis lectores.

Paúl...

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por ser la fuerza que me protege, sustenta, alienta y motiva para alcanzar cada meta propuesta al mantenerse siempre a mí lado.

Expreso un especial agradecimiento a mi querida esposa Juleidy Carolina Aponte Torres, por su amor invaluable, motivación, paciencia, apoyo, y ser la fortaleza para afrontar las adversidades.

A mi padre Manuel Adán Jiménez Flores, que, con su ejemplo de perseverancia, educación y valores, supieron forjar mi camino al guiarme por el sendero del bien.

A mis hermanos, Richard, Darwin, Julio, Patricio, Byron, por sus consejos, respaldo y cariño, razones que me motivaron a superarme constantemente.

Al MSc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado por haberme brindado su confianza, conocimientos y apoyo al requerir de orientación durante el desarrollo de la investigación.

Diego...

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios y a la Virgen de Guadalupe por bendecirme de salud, prosperidad, sabiduría, e iluminar el camino del bien para alcanzar mis ideales sin desfallecer.

Un sincero agradecimiento a mi tutor Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc. por la asesoría brindada, ánimo, amistad y valioso saber compartido, además de la dedicación proporcionada en el desarrollo del presente informe investigativo.

Igualmente, agradezco a las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por orientarme en el camino de la excelencia. Además, a todos los docentes que me compartieron sus experiencias y anécdotas profesionales.

De manera muy especial, agradezco a mis familiares por el apoyo incondicional durante todo el lapso de mi vida y carrera profesional.

Paúl...

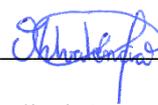
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quienes suscriben, declaran que asumen la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, febrero, 03, 2022



Diego David Jiménez Jiménez
C.C. 210057951-1



Paúl Wladimir Potes Valencia
C.C. 172448574-1

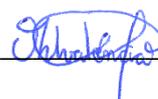
RENUNCIA DE DERECHOS

Quienes suscriben, ceden los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, febrero, 03, 2022



Diego David Jiménez Jiménez
C.C. 210057951-1

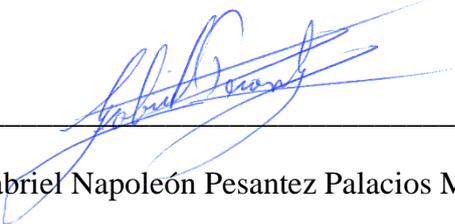


Paúl Wladimir Potes Valencia
C.C. 172448574-1

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **“Evaluación de eficiencia energética para mejorar los indicadores de desempeño IDEn en la finca "La Cordillera" perteneciente al Cantón Mejía, Provincia de Pichincha”** contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, febrero, 03, 2022



Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc.
C.C. 030189388-9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: “Evaluación de eficiencia energética para mejorar los indicadores de desempeño IDEn en la finca "La Cordillera" perteneciente al Cantón Mejía, Provincia de Pichincha”

Autores: Jiménez Jiménez Diego David

Potes Valencia Paúl Wladimir

Tutor: Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc.

RESUMEN

La finca “La Cordillera” presentó instalaciones eléctricas con caídas de voltaje, bajo factor de potencia, protecciones sobredimensionadas, conductores sin cargas conectadas, ausencia de estudios lumínicos, diagramas unifilares e inexistencia de planos eléctricos. La investigación buscó evaluar la eficiencia de la industria ganadera para mejorar los indicadores de desempeño energético. Primero se identificó el portador más representativo entre la electricidad, GLP o gasolina a través del diagrama de Pareto, seguido del comportamiento del consumo eléctrico durante el período 2018 – 2020, de igual forma la auditoría energética efectuada mediante el analizador de redes, pinza amperimétrica, luxómetro, resaltó el uso ineficiente de la energía eléctrica como lumínica. El sistema de iluminación LED a base de sensores de presencia empleó 15 lámparas, a fin de cumplir los criterios primordiales de la calidad lumínica, economizar anualmente 124,60 kW·h, además de llegar a valores del VEEI de 1,04 W/(m²·lx), igualmente; la compensación reactiva fija accionada por contactor permitió incrementar el FP de 0,76 a 0,976, a la vez, disminuyó la cargabilidad del transformador monofásico en 21,66%, así, los IDEn fueron mejorados al obtener resultados de 9.470 kW·h/año, 0,0517 kW·h/L, 1.815,435 kg CO₂/año. El cambio de tarifa residencial a comercial sin demanda alcanzó el ahorro monetario anual de 220,44 USD. Finalmente, el análisis económico reflejó la rentabilidad del proyecto pues el valor actual neto fue de 51,34 USD, la tasa interna de retorno de 8,38% mayor que el tipo de interés del 7,48% y relación beneficio/costo de 1,04.

PALABRAS CLAVE: auditoría energética; portador energético; eficiencia energética; IDEn; factor de potencia; VEEI.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MASTER'S DEGREE IN ELECTRICITY
MENTION ELECTRICAL POWER SYSTEMS**

Topic: “Evaluation of energy efficiency to improve IDEn performance indicators at the "La Cordillera" farm in the Mejía Canton, Pichincha Province”

Authors: Jiménez Jiménez Diego David
Potes Valencia Paúl Wladimir

Tutor: Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc.

ABSTRACT

The “La Cordillera” farm had electrical installations with voltage drops, low power factor, oversized protections, conductors without connected loads, lack of lighting studies, single-line diagrams and no electrical plans. The research sought to evaluate the efficiency of the livestock industry to improve energy performance indicators. First, the most representative carrier was identified between electricity, LPG or gasoline through the Pareto diagram, followed by the behavior of electricity consumption during the period 2018 – 2020, likewise the energy audit carried out through the network analyzer, amperimetric clamp, luxmeter, highlighted the inefficient use of electrical energy as lighting. The LED lighting system based on presence sensors used 15 lamps, in order to meet the primary criteria of light quality, save 124.60 kW·h annually, in addition to reaching VEEI values of 1.04 W/(m²·lx), likewise; the contactor-driven fixed reactive compensation allowed increasing the PF from 0.76 to 0.976, at the same time, it decreased the loadability of the single-phase transformer by 21.66%, thus, the IDEn were improved by obtaining results of 9,470 kW·h/yr, 0.0517 kW·h/L, 1,815.435 kg CO₂/yr. The change from residential to non-demand commercial tariff achieved the annual monetary savings of 220.44 USD. Finally, the economic analysis reflected the profitability of the project as the net present value was 51.34 USD, internal rate return of 8.38% higher than the interest rate of 7.48% and benefit/cost ratio of 1.04.

KEYWORDS: energy audit; energetic carrier; energy efficiency; IDEn; power factor; VEEI.

Yo, Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número: 050266651-4 Licenciado en Ciencias de la Educación Especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-701921; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA MEJORAR LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO IDEn EN LA FINCA "LA CORDILLERA" PERTENECIENTE AL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA DE PICHINCHA”** de: **Diego David Jiménez Jiménez y Paúl Wladimir Potes Valencia**, aspirantes a Magíster en **Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia**.


Marco Paúl Beltrán Semblantes Mg.
C.C. 050266651-4



CENTRO
DE IDIOMAS

Latacunga, enero, 25, 2022

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
AVAL DEL TUTOR	ii
AVAL DEL TRIBUNAL	iii
AGRADECIMIENTO	vi
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	viii
RENUNCIA DE DERECHOS	ix
AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
ÍNDICE DE ANEXOS	xxiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA – METODOLÓGICA	6
1.1. Antecedentes de la investigación	6
1.2. Fundamentación teórica.....	8
1.2.1. Eficiencia energética.....	8
Sistema de gestión energética (SGEn)	8
Auditoría energética (AE)	15
1.2.2. Sistema de iluminación.....	16
Conceptos generales de luminotecnia	16
Iluminación de interiores.....	18
Iluminación de exteriores.....	23
Lámparas LED (Light-Emitting Diode).....	24
Iluminación natural de edificios para fábricas y talleres.....	25
1.2.3. Metodología para la calidad de energía eléctrica.....	25
Nivel de voltaje	25
Desequilibrio de voltaje y corriente	25
Distorsión armónica de voltaje.....	26
Distorsión armónica de corriente	26

1.2.4. Radiación solar	27
Irradiancia (G).....	28
Irradiación	28
Hora solar pico (HSP)	28
Coordenadas solares.....	29
Declinación solar.....	30
1.2.5. Piranómetro Apogee MP-200	30
1.2.6. Analizador trifásico de calidad eléctrica y energética Fluke 435 Serie II	30
1.2.7. Pinza amperimétrica Fluke 376 FC	31
1.2.8. Luxómetro Digi-Sense 20250-00.....	32
1.3. Fundamentación metodológica	32
1.3.1. Modalidad de investigación	32
1.3.2. Tipo de investigación.....	33
Investigación documental.....	33
Investigación de campo.....	33
Investigación descriptiva.....	33
Investigación experimental	33
1.3.3. Métodos de investigación	33
Método deductivo – inductivo	33
Método analítico – sintético	34
Método descriptivo.....	34
Método estadístico	34
Método histórico	34
1.3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	34
Observación.....	34
Medición	34
Cálculo	35
Simulación.....	35
1.4. Conclusiones.....	35
CAPÍTULO II. PROPUESTA.....	36
2.1. Título del proyecto.....	36
2.2. Objetivo del proyecto.....	36
2.3. Descripción del proyecto	36

2.4. Procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados	36
2.4.1. Descripción general del suministro eléctrico de la finca	36
2.4.2. Comportamiento de la energía y producción en la finca “La Cordillera”	37
2.4.3. Calidad de energía eléctrica de la finca “La Cordillera”	38
Análisis de los niveles de voltaje	38
Desequilibrio de voltaje	39
Valores de corriente	40
Desequilibrio de corriente	41
Factor de potencia	41
Demanda eléctrica de la finca “La Cordillera”	42
Distorsión armónica de voltaje.....	43
Distorsión armónica de corriente	44
Flicker	46
2.4.4. Estado actual del sistema de iluminación	46
Variación en las mediciones de iluminación.....	47
Evaluación de los niveles de iluminación	50
2.4.5. Simulación del sistema eléctrico actual	52
Flujo de carga máxima.....	52
2.5. Conclusiones.....	53
CAPÍTULO III. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA	54
3.1. Análisis de los resultados.....	54
3.1.1. Sistema de iluminación LED con control de presencia	54
Lista de luminarias	54
Criterios primordiales de la calidad lumínica	54
Consumo energético.....	57
Eficiencia energética	60
Iluminación del patio de espera mediante lámparas de vapor de sodio a alta presión.....	62
3.1.2. Cálculo del cableado para iluminación	63
Tubería anillada flexible reforzada (E.N.T.).....	66
3.1.3. Determinación de interruptores termomagnéticos	67
3.1.4. Corrección del factor de potencia	67
2.5.1. Simulación del sistema eléctrico con propuestas de mejora.....	71

Flujo a carga máxima	71
Flujo a carga máxima con motor de 4 HP	71
Flujo a carga media	72
Flujo a carga mínima.....	73
3.1.5. Replanteo del contrato de suministro eléctrico	73
3.1.6. Disminución de pérdidas eléctricas	75
Pérdidas de potencia.....	75
Pérdidas de energía	75
3.1.7. Emisiones de CO ₂ reducidas.....	77
3.1.8. Análisis estadístico de la radiación media diaria mensual.....	77
3.2. Validación técnica-económica.....	79
3.2.1. Valor Presente Neto	79
3.2.2. Tasa Interna de Retorno	80
3.2.3. Factor de Recuperación de Capital	80
3.2.4. Relación Beneficio/Costo	80
3.2.5. Período de Recuperación Compuesto	81
3.2.6. Análisis financiero de la compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico.....	81
3.2.7. Análisis económicos del sistema de iluminación LED con control de presencia, compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico.....	82
3.2.8. Indicadores de desempeño energético con propuestas de mejora.....	84
3.2.9. Indicadores económicos con propuestas de mejora.....	85
3.3. Evaluación de impactos o resultados	85
3.3.1. Impacto técnico.....	85
3.3.2. Impacto ambiental.....	85
3.3.3. Impacto económico.....	85
3.4. Conclusiones.....	86
CONCLUSIONES GENERALES.....	86
RECOMENDACIONES GENERALES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Localización geográfica de la finca “La Cordillera”.	1
Fig. 2. Ciclo de mejora continua PHVA.	9
Fig. 3. Representación gráfica del diagrama de Pareto.	12
Fig. 4. Línea base de acuerdo al consumo de energía (kW·h) y producción de materia en toneladas (T).	13
Fig. 5. Diagrama de flujo del proceso de la AE de acuerdo a la norma ISO 50002.	15
Fig. 6. Flujo luminoso.	16
Fig. 7. Iluminancia.....	16
Fig. 8. Intensidad luminosa.	17
Fig. 9. Luminancia.....	17
Fig. 10. Rendimiento luminoso.	17
Fig. 11. Curva isolux.	18
Fig. 12. Alumbrado general.....	20
Fig. 13. Alumbrado localizado.	21
Fig. 14. Alumbrado general localizado.	21
Fig. 15. Alumbrado modularizado.	21
Fig. 16. Iluminación exterior.....	24
Fig. 17. Espectro electromagnético de la radiación.....	27
Fig. 18. Tipos de radiación solar al atravesar la atmósfera terrestre.	28
Fig. 19. Hora solar pico de un día.	29
Fig. 20. Ángulos que determinan la posición del Sol en cada instante.	29
Fig. 21. Desplazamiento elíptico de la Tierra alrededor del Sol.	30
Fig. 22. Piranómetro Apogee MP-200.	30
Fig. 23. Analizador Fluke 435 Serie II.	31
Fig. 24. Conexión del analizador en un sistema monofásico trifilar (fase dividida).....	31
Fig. 25. Pinza amperimétrica Fluke 376 FC.....	32
Fig. 26. Luxómetro Digi-Sense 20250-00.....	32
Fig. 27. Portador energético económicamente representativo.	37
Fig. 28. Consumo energético histórico de la finca en el período 2018 – 2020.	37
Fig. 29. Línea base conforme el consumo de energía (kW·h) y producción lechera (L).	38
Fig. 30. Variación del voltaje fase – neutro.	39

Fig. 31. Variación del voltaje fase – fase.	39
Fig. 32. Comportamiento de las corrientes por fase en horas de producción lechera.	40
Fig. 33. Factor de potencia de la finca “La Cordillera” en períodos de consumo.	41
Fig. 34. Potencia aparente promedio semanal de la finca “La Cordillera”.	42
Fig. 35. Demanda eléctrica promedio semanal de la finca “La Cordillera”.	42
Fig. 36. Potencia reactiva promedio semanal de la finca “La Cordillera”.	43
Fig. 37. Representación porcentual de la distorsión armónica individual de voltaje.	43
Fig. 38. Representación porcentual de la distorsión armónica individual de corriente.	45
Fig. 39. Flicker de corta duración en horas de producción lechera.	46
Fig. 40. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio en el patio de espera.	47
Fig. 41. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio de la sala de ordeño.	48
Fig. 42. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación media del cuarto de frío.	48
Fig. 43. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio de la bodega de balanceado.	49
Fig. 44. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio del cuarto de máquina.	49
Fig. 45. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio del cuarto de máquinas.	50
Fig. 46. Comparativa de los niveles de iluminación medidos y normados.	50
Fig. 47. Comparativa de la iluminación promedio in situ y simulada.	51
Fig. 48. Sistema de iluminación actual de la finca “La Cordillera”.	51
Fig. 49. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera”.	52
Fig. 50. Flujo de carga del sistema eléctrico actual a demanda máxima.	53
Fig. 51. Niveles de iluminación del sistema LED.	55
Fig. 52. Sistema de iluminación LED con control de presencia.	55
Fig. 53. Límite de deslumbramiento del sistema de iluminación LED.	56
Fig. 54. Índice de uniformidad del sistema de iluminación LED.	57
Fig. 55. Porcentaje relativo por área de trabajo en el sistema de iluminación actual.	57
Fig. 56. Porcentaje relativo por área de trabajo en el sistema de iluminación propuesto.	59
Fig. 57. Ahorro potencial de energía eléctrica.	59
Fig. 58. Eficiencia energética del sistema de iluminación actual y propuesto.	61

Fig. 59. Cumplimiento de los límites establecidos del VEEL.....	61
Fig. 60. Iluminación del patio de espera con lámparas de vapor de sodio a alta presión.....	62
Fig. 61. Iluminación del patio de espera mediante lámparas LED.....	62
Fig. 62. Eficiencia energética de la iluminación LED y SON en el patio de espera.....	63
Fig. 63. Esquema de los tramos del patio de espera.....	64
Fig. 64. Esquema de los tramos de la iluminación interior pertenecientes a la edificación 1..	64
Fig. 65. Esquema de los tramos de la iluminación del cuarto de frío.	65
Fig. 66. Esquema de control y potencia de la compensación reactiva.	70
Fig. 67. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera” con propuestas de mejora.	70
Fig. 68. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda máxima.	71
Fig. 69. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda máxima con motor auxiliar.	72
Fig. 70. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda media.	72
Fig. 71. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda mínima.	73
Fig. 72. Curva de los valores medios mensuales de la irradiación global diaria en la finca "La Cordillera".	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos específicos.	3
Tabla 2. Índices de desempeño energético.	14
Tabla 3. Valor porcentual del flujo luminoso total distribuido.	20
Tabla 4. Altura de suspensión de las luminarias.....	22
Tabla 5. Valores de eficiencia energética límite (VEEI).	23
Tabla 6. Altura de montaje de luminarias.....	24
Tabla 7. Valores recomendados de iluminación.....	25
Tabla 8. Rangos aceptables para la calidad de nivel de voltaje.....	25
Tabla 9. Rangos máximos de distorsión de voltaje.	26
Tabla 10. Límites de distorsión de corriente para sistemas desde 120 V a 69 kV.	26
Tabla 11. Datos de placa del transformador.	36
Tabla 12. Gasto y representación porcentual por portador energético.	37
Tabla 13. Variación del voltaje con respecto a la tensión nominal fase – neutro (120 V).	38
Tabla 14. Variación del voltaje con respecto a la tensión nominal fase – fase (240 V).	39
Tabla 15. Valores de voltaje necesarios para determinar el desequilibrio de tensión.	40
Tabla 16. Valores de corriente.....	40
Tabla 17. Valores de corriente requeridos para determinar el D_I	41
Tabla 18. Factor de potencia durante el funcionamiento de la industria láctea.....	42
Tabla 19. Armónicos individuales de voltaje.	43
Tabla 20. Valores de la distorsión armónica total de voltaje.....	44
Tabla 21. Valores de la relación I_{SC}/I_L	44
Tabla 22. Armónicos individuales de corriente.....	45
Tabla 23. Valores de la distorsión de demanda total.	45
Tabla 24. Flicker de corta duración.	46
Tabla 25. Niveles mínimos de iluminación.	46
Tabla 26. Variación porcentual de las mediciones de iluminación del patio de espera.	47
Tabla 27. Variación porcentual de las mediciones de iluminación de la sala de ordeño.	47
Tabla 28. Variación porcentual de las mediciones de iluminación del cuarto de frío.....	48
Tabla 29. Variación porcentual de las mediciones de iluminación media de la bodega de balanceado.	48
Tabla 30. Variación porcentual de las mediciones de iluminación del cuarto de máquina.	49

Tabla 31.	Variación porcentual de las mediciones de iluminación del cuarto de máquinas. ..	49
Tabla 32.	Cumplimiento de los niveles actuales de iluminación.....	50
Tabla 33.	Margen de error de las mediciones in situ con respecto a la simulación.....	51
Tabla 34.	Valores del flujo de carga a demanda máxima.....	53
Tabla 35.	Luminarias empleadas en el sistema de iluminación LED.....	54
Tabla 36.	Iluminación promedio.....	55
Tabla 37.	Límite de deslumbramiento.....	56
Tabla 38.	Índice de uniformidad.....	56
Tabla 39.	Consumo de energía del sistema de iluminación actual.....	57
Tabla 40.	Características principales de los sensores de presencia.....	58
Tabla 41.	Consumo de energía del sistema de iluminación LED.....	58
Tabla 42.	VEEI del sistema de iluminación actual y propuesto.....	60
Tabla 43.	Valor de eficiencia energética de la instalación tras la mejora.....	61
Tabla 44.	Caída de voltaje en la iluminación del estacionamiento.....	63
Tabla 45.	Caída de voltaje en la iluminación del patio de espera.....	64
Tabla 46.	Caída de voltaje en el circuito de iluminación interior de la edificación 1.....	64
Tabla 47.	Caída de voltaje en la iluminación del cuarto frío.....	65
Tabla 48.	Corriente de la iluminación del estacionamiento, patio de espera y cuarto de frío.....	65
Tabla 49.	Corriente total del circuito de iluminación interior de la edificación 1.....	65
Tabla 50.	Área total de los cables destinados para la iluminación exterior.....	66
Tabla 51.	Área total de los cables destinados para la iluminación interior y circuito de tomacorrientes.....	66
Tabla 52.	Corrientes nominales de los interruptores termomagnéticos.....	67
Tabla 53.	Valores de la potencia reactiva necesaria.....	68
Tabla 54.	Valores de la potencia reactiva necesaria para compensación individual.....	68
Tabla 55.	Potencia reactiva necesaria para el motor de respaldo.....	68
Tabla 56.	Capacidad de los condensadores fijos para compensación individual.....	69
Tabla 57.	Cotización de corrección fija accionada por contactor.....	69
Tabla 58.	Cotización del banco de capacitores automático.....	69
Tabla 59.	Valores del flujo de carga a demanda máxima con las propuestas.....	71
Tabla 60.	Valores del flujo de carga a demanda máxima con motor de 4 HP.....	72
Tabla 61.	Valores del flujo de carga a demanda media.....	73

Tabla 62. Valores del flujo de carga a demanda mínima.	73
Tabla 63. Tarifas de suministro eléctrico de acuerdo a la categoría.	74
Tabla 64. Tarifas de suministro eléctrico de acuerdo a la categoría.	74
Tabla 65. Pérdidas del sistema eléctrico actual.	75
Tabla 66. Pérdidas del sistema eléctrico con propuestas de mejora.	75
Tabla 67. Demanda media del día con mayor productividad láctea.	76
Tabla 68. Emisiones de CO ₂ evitadas a través de las propuestas de mejora.	77
Tabla 69. Irradiancia global promedio diaria de la finca "La Cordillera".	77
Tabla 70. Irradiación global media diaria de la finca "La Cordillera".	78
Tabla 71. Inversión para la compensación reactiva y replanteamiento del contrato de suministro eléctrico.	81
Tabla 72. Egresos de la compensación reactiva.	81
Tabla 73. Ahorro económico de la compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico.	82
Tabla 74. Evaluación financiera de la compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico.	82
Tabla 75. Inversión del sistema de iluminación LED con control de presencia.	83
Tabla 76. Egresos del sistema de iluminación LED con control de presencia.	83
Tabla 77. Balance económico de las propuestas de mejora.	83
Tabla 78. Reinversión de la compensación reactiva.	84
Tabla 79. Evaluación financiera de las propuestas de mejora.	84
Tabla 80. Indicadores de desempeño energético actuales vs propuestos.	85
Tabla 81. Indicadores económicos actuales vs propuestos.	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Auditoría energética de la industria láctea “La Cordillera”.....	101
Anexo 2. Metodología para la obtención de parámetros eléctricos mediante el analizador de redes.....	110
Anexo 3. Metodología para la medición de la iluminación.	112
Anexo 4. Medición de los actuales niveles iluminación en la finca “La Cordillera”.....	113
Anexo 5. Esquema de distribución eléctrica de la industria láctea “La Cordillera”.	118
Anexo 6. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera”.....	119
Anexo 7. Distribución de las luminarias LED propuestas en la finca “La Cordillera”.....	120
Anexo 8. Isolíneas y colores falsos de las diferentes áreas de la finca “La Cordillera”.	120
Anexo 9. Cables THHN 600 V 90 °C.	124
Anexo 10. Factor de ajuste para más de tres conductores en una canalización o cable.....	124
Anexo 11. Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase.	124
Anexo 12. Dimensiones de la tubería no metálica eléctrica (E.N.T.) y área disponible para los conductores.....	125
Anexo 13. Factor multiplicador para obtener el factor de potencia deseado.	125
Anexo 14. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera” con propuestas de mejora.	126
Anexo 15. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico con propuestas de mejora y grupo electrógeno.....	127
Anexo 16. Metodología para la determinación del potencial solar.	128
Anexo 17. Determinación del potencial solar de la finca "La Cordillera".	131
Anexo 18. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 6:30 am de la finca "La Cordillera".....	136
Anexo 19. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 7:00 am de la finca "La Cordillera".....	137
Anexo 20. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 7:30 am de la finca "La Cordillera".....	138
Anexo 21. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 8:00 am de la finca "La Cordillera".....	139
Anexo 22. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 8:30 am de la finca "La Cordillera".....	140
Anexo 23. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 9:00 am de la finca "La Cordillera".....	141

Anexo 24. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 9:30 am de la finca "La Cordillera".	142
Anexo 25. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 10:00 am de la finca "La Cordillera".	143
Anexo 26. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 10:30 am de la finca "La Cordillera".	144
Anexo 27. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 11:00 am de la finca "La Cordillera".	145
Anexo 28. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 12:00 pm de la finca "La Cordillera".	146
Anexo 29. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 12:30 pm de la finca "La Cordillera".	147
Anexo 30. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 1:00 pm de la finca "La Cordillera".	148
Anexo 31. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 1:30 pm de la finca "La Cordillera".	149
Anexo 32. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 2:00 pm de la finca "La Cordillera".	150
Anexo 33. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 2:30 pm de la finca "La Cordillera".	151
Anexo 34. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 3:00 pm de la finca "La Cordillera".	152
Anexo 35. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 3:30 pm de la finca "La Cordillera".	153
Anexo 36. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 4:00 pm de la finca "La Cordillera".	154
Anexo 37. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 4:30 pm de la finca "La Cordillera".	155
Anexo 38. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 5:00 pm de la finca "La Cordillera".	156
Anexo 39. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 5:30 pm de la finca "La Cordillera".	157
Anexo 40. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 6:00 pm de la finca "La Cordillera".	158
Anexo 41. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 6:30 pm de la finca "La Cordillera".	159
Anexo 42. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 7:00 pm de la finca "La Cordillera".	160

INTRODUCCIÓN

Una evaluación de eficiencia energética a través de la auditoría, tiene el propósito de brindar alternativas más eficaces basadas en el estado actual del sistema eléctrico y lumínico de la finca "La Cordillera", las cuales permitan racionalizar el consumo de electricidad para mejorar los indicadores de desempeño energético (IDEn), sin alterar el confort de los operadores lecheros.

La finca "La Cordillera" está situada en la principal 101 (véase figura 1), zona rural el Pongo de la parroquia de Alóag, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, a una altitud de 3335 m, cuyas coordenadas son: 0,4774° S y 78,6468° O [1].



Fig. 1. Localización geográfica de la finca "La Cordillera".

Fuente: Autores, [1].

La propiedad posee 42,59 hectáreas útiles para actividades agropecuarias; como el cultivo de papas, mellocos, pastos, habas, entre otros productos. Además, cuenta con 49 vacas lecheras. El establo tiene un área de 554 m², destinado a la alimentación y ordeño del ganado.

Antecedentes

El presente informe se vincula con la línea de investigación correspondiente a **energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental**, enlazada con la sublínea **conversión y uso racional de la energía eléctrica**. Este estudio tiene por objeto reducir el consumo eléctrico en la finca "La Cordillera", lo que permite mejorar los indicadores de desempeño IDEn con un impacto positivo en el cuidado del ecosistema.

Planteamiento del problema

En el transcurso del tiempo el consumo eléctrico a nivel mundial se ha incrementado producto del constante crecimiento poblacional. Con la finalidad de mantener su calidad de vida es

necesario buscar un desarrollo sostenible, cuyo objetivo principal está encaminado al fortalecimiento de la eficiencia energética.

Por otro lado, este aumento durante el uso de energía conlleva a no abastecer la demanda máxima con generación renovable, en consecuencia, se utilizan centrales térmicas que contribuyen a la contaminación y agotamiento de combustibles fósiles.

El desconocimiento de los indicadores de desempeño energético (IDEn) provoca errores en la elección de planes de mejora por reflejar ineficiencia del proceso y altos consumos de energía, esto ocasiona gastos innecesarios o implementaciones inadecuadas que evitan obtener un uso racional de la electricidad.

Durante la producción lechera se requieren equipos cuyo funcionamiento depende de la energía eléctrica, a fin de facilitar la recolección y calidad del lácteo. Los operadores de leche tienen la necesidad de hacer uso eficiente de la electricidad para mejorar su rentabilidad, pero carecen de estudios, asesoría o una correcta planificación. Por ende, si las instalaciones de la industria no están en óptimas condiciones, resulta un excesivo consumo energético lo que causa el incremento de los egresos de dinero.

Actualmente el establo de la finca “La Cordillera” contiene maquinaria, como motores, electrobombas autocebantes, tanque de enfriamiento, bomba de leche, también posee equipos electrónicos e impulsor para cerca eléctrica, los cuales consumen electricidad. En el proceso de limpieza es necesario el calentamiento de agua mediante el uso de gas, pero existe un empleo ineficaz de energía calorífica por utilizar utensilios.

No obstante, la finca presenta el transformador cercano a su cargabilidad máxima, tiene instalaciones eléctricas con caídas de voltaje, bajo factor de potencia, inexistencia del diagrama unifilar, ausencia de mantenimientos preventivos a luminarias, protecciones sobredimensionadas, conductores sin cargas conectadas y empalmes inadecuados, pues, ante la presencia de cortocircuitos los equipos sufren daños, esto produce gastos de reparación o sustitución innecesaria.

Además, el establo no dispone del estudio lumínico que garantice niveles de iluminación adecuados para el desarrollo de la actividad láctea, confort visual, y primordialmente, seguridad industrial como salud ocupacional del personal técnico. Por tanto, resulta importante realizar una evaluación de eficiencia energética con la finalidad de mejorar los indicadores IDEn mediante la aplicación de la norma NTE INEN - ISO 50001:2019.

Formulación del problema

Debido al desconocimiento de los indicadores de desempeño IDEn es necesario realizar una evaluación de eficiencia energética del sistema eléctrico en la finca “La Cordillera”.

Objetivo general

Evaluar la eficiencia energética del sistema eléctrico en la finca “La Cordillera”, para mejorar los indicadores de desempeño IDEn.

Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica de la eficiencia energética y metodologías establecidas para su estudio.
- Ejecutar el levantamiento de datos del sistema eléctrico.
- Plantear alternativas de mejora para la disminución del consumo energético de la finca “La Cordillera”.
- Evaluar técnica-económicamente las propuestas proyectadas.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos:

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos específicos.

Objetivos específicos	Actividades	Resultados de las actividades	Medios de verificación
Recopilar información bibliográfica de la eficiencia energética y metodologías establecidas para su estudio.	<ul style="list-style-type: none">• Búsqueda de información en medios físicos y digitales de la eficiencia energética.• Indagación en textos argumentativos u obras impresas dedicadas al estudio de auditorías energéticas.	<ul style="list-style-type: none">• Fundamentación técnico-teórica para el desarrollo de la investigación.• Metodología para la determinación de los índices de rendimiento.	<ul style="list-style-type: none">• Fuentes bibliográficas.• Procedimiento sistemático.• Ecuaciones.
Ejecutar el levantamiento de datos del sistema eléctrico.	<ul style="list-style-type: none">• Recolección de los datos de la demanda eléctrica.• Tabulación de la información adquirida.• Elaboración de históricos referentes al consumo energético.• Medición de los niveles actuales de iluminación.	<ul style="list-style-type: none">• Demanda diaria de la finca “La Cordillera”.• Curvas de potencia media.• Tabla de resultados de la energía consumida.• Iluminancia promedio.	<ul style="list-style-type: none">• Curvas elaboradas en Excel.• Tabla de resultados.

Objetivos específicos	Actividades	Resultados de las actividades	Medios de verificación
Plantear alternativas de mejora para la disminución del consumo energético de la finca “La Cordillera”.	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de los portadores energéticos. • Estudio de los indicadores de eficiencia. • Elaboración de las propuestas de solución. 	<ul style="list-style-type: none"> • Portador energético económicamente representativo. • IDEn. • Mejora de los indicadores de desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de Pareto. • Tabla comparativa. • Diagrama unifilar.
Evaluar técnica-económicamente las propuestas proyectadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación del presupuesto. • Cálculo de los beneficios económicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de la propuesta. • Ahorro monetario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculos. • Análisis financiero.

Fuente: Autores.

Justificación

El uso racional de la energía es una de las razones actuales para buscar iniciativas eficaces vinculadas a la reducción del consumo, impactos medio ambientales, así como inversiones en la incorporación o repotenciación del sistema eléctrico de potencia [2]. La eficiencia energética constituye la posibilidad de mejorar el abastecimiento de electricidad, confort y calidad de vida humana [2].

La auditoría energética constituye un aspecto transcendental para la eficiencia tanto de las instalaciones eléctricas como las actividades desarrolladas en la propiedad “La Cordillera”, pues le permite al personal evaluador identificar el portador más representativo mediante análisis estadístico, con el propósito de conocer el estado actual del sistema y su respectivo consumo de electricidad.

Según lo citado anteriormente, a través del diagnóstico eléctrico es posible realizar una evaluación de eficiencia energética, pues permite establecer los indicadores de desempeño (IDEn) y plantear soluciones óptimas desde el punto de vista técnico-económico, lo cual, aporta al desarrollo sostenible con un impacto positivo en el cuidado del medio ambiente [3].

Al mejorar los índices de gestión el consumo de energía disminuirá, esto resulta beneficioso para el propietario de la finca “La Cordillera” por reducir los egresos de dinero sin afectar la calidad del producto.

Aquellos consumidores que apliquen medidas de eficiencia energética en edificaciones destinadas al uso industrial, comercial, residencial, sean estas nuevas, remodeladas o

rehabilitadas, se les otorgará incentivos oportunos y eficaces una vez validado dichas acciones por el ente rector conjuntamente con las instancias pertinentes [4].

Existen diversas metodologías aplicadas de acuerdo a las actividades que se desarrollen en el sector evaluado, generalmente deben considerarse cuatro etapas: recopilación de datos y planificación de la auditoría, realización de ensayos, mejoras a introducir e integración de energías renovables, para posteriormente efectuar un análisis económico conjuntamente con el informe final [3].

Hipótesis

Si se realiza una evaluación de eficiencia energética del sistema eléctrico en la finca “La Cordillera”, será posible mejorar los indicadores de desempeño IDEn.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA – METODOLÓGICA

El presente capítulo tiene como objetivo abordar investigaciones, conceptos y metodologías referentes a la eficiencia energética que permitan sustentar la investigación. Además, expone el procedimiento utilizado para la evaluación del estado actual del sistema eléctrico de la finca "La Cordillera" a fin de mejorar los indicadores de desempeño IDEn.

1.1. Antecedentes de la investigación

Actualmente, las empresas afrontan retos trascendentales basados en eficiencia energética con aportes positivos al cuidado del ecosistema [5]. Por tomar como referencia la norma ISO 50002, las medidas de conservación de energía propuestas pudieron garantizar un ahorro de electricidad del 11 al 15% [5].

Las auditorías energéticas son un instrumento fundamental para introducir el concepto de eficiencia dentro del sector económico o residencial de cualquier país [6]. Las diversas propuestas del estudio lograron disminuir tanto los consumos como costes de energía [6]. Al cambiar de iluminación convencional a LED ahorra anualmente 41.891 kW·h y \$14.573,39 [6].

Mediante la sustitución de los sistemas de iluminación convencionales a tecnología LED junto con la reducción del costo de mantenimiento, alcanzan ahorros potenciales entre el 53% al 62%, y el período de recuperación de la inversión inicial equivale alrededor de 4 años [7]. Adicionalmente, en un horizonte de 15 años los beneficios económicos por disminución del consumo eléctrico debido al cambio de las luminarias fluorescentes ineficientes serían de \$56.086,20 [8].

Según el artículo [9], la industria láctea posee bajos niveles de eficiencia energética independientemente de su tamaño. Las altas ineficiencias respecto a la utilización de electricidad son un tema clave en la producción de energías renovables [9].

El estudio [10] identificó como mayor potencial de ahorro energético el enfriamiento de la leche y el calentamiento del agua de limpieza, incluso situar el condensador del circuito de refrigeración externamente o mejorar la ventilación de la sala de tanques, pueden disminuir el consumo de energía del proceso de enfriado en un 30% [10].

De acuerdo a [11], [12], las industrias lecheras que poseen una mejor eficiencia disponen de menores costos por electricidad y reducción de las huellas ambientales, conjuntamente con la mejora de la productividad, rentabilidad de los sistemas agrícolas. Los resultados indicaron un

ahorro del 23% al 35% de energía mediante la aplicación de auditorías energéticas, junto a la utilización de más fuentes renovables como la implementación de paneles fotovoltaicos [11], [12].

Como demuestra [13], en el proyecto se realiza una línea base del consumo energético actual por unidad producida (kW·h/uni), determina las oportunidades de mejora y plantea la ejecución de las soluciones con bajo costo de implementación [13]. Debido a ello existe una reducción de 124,82 a 80,15 kW·h/uni, lo que permite no solamente un ahorro de \$74.795, sino también, la disminución de 311 toneladas de CO₂ anuales mediante una inversión inicial de \$188.555 [13].

Por medio del replanteamiento del contrato de suministro eléctrico a consumidor industrial junto con la instalación de variadores de frecuencia en motores, estimaron un ahorro de electricidad de 100,92 MWh/año, lo que posibilita alcanzar como beneficio económico el valor de \$42.148,00 anuales y el retorno de la inversión sería de 1,38 o 1,53 años [14], [15]. Finalmente, evitarían la emisión de 975,40 – 1.014,80 Ton CO₂/año, de esta manera se contribuye al cuidado del ecosistema [14], [15].

[16], plantea diversas estrategias ambientales orientadas a la eficiencia energética, como utilizar energía solar fotovoltaica para la operación del sistema de iluminación LED, automatización y control electrónico de los equipos, aplicar el cambio paulatino de las unidades de climatización convencionales por tecnología inverter. Estas alternativas de mejora permitirán reducir la huella de carbono a cero de manera eficiente [16].

Dentro de la producción láctea el uso eficiente de la energía es significativamente importante, pues permite aumentar la rentabilidad industrial [17]. Mediante el sistema integrado de eficiencia energética reducen los costos del proceso lechero en un 22%, el consumo eléctrico mensual por unidad producida disminuye de 32.677,56 kW·h a 24.162,81 kW·h para procesar 206.555 litros de leche, y finalmente evita la emisión de 76.530,29 kg de CO₂ anuales, de esta manera contribuye al cuidado del ecosistema [17].

En [18], se efectuó la auditoría energética con la finalidad de identificar los consumidores de energía, además del diagrama de Pareto para la selección del proceso de calentamiento y almacenamiento de agua caliente. Así, obtuvieron como costo de producción 0,03 USD/kW·h a una tasa interna de retorno (TIR) del 51,8% [18].

El diseño del plan de mejoras de la gestión energética se basó en la metodología del modelo ISO 50001. Como resultado de la auditoría interna fue identificado un porcentaje de 18,72% de

pérdidas por desbalance de potencia, no obstante, el proyecto resulta viable al obtener el valor actual neto (VAN) positivo de \$2.736,89 y una TIR de 42,72% mayor a la tasa de descuento del 17% [19].

1.2. Fundamentación teórica

Para el desarrollo del informe, fue primordial establecer diferentes terminologías relacionadas con la eficiencia energética. En la presente sección se detallan sus aspectos fundamentales, con el propósito de facilitar la comprensión de la temática abordada.

1.2.1. Eficiencia energética

La eficiencia energética (EE) es el conjunto de acciones que permiten disminuir la cantidad de energía demandada por la actividad o servicio sin afectar su calidad, y contribuir a la reducción del impacto ambiental mediante una mejora en la competitividad de los procesos productivos [20], [21], [22].

Un estudio de eficiencia energética:

- Contribuye a la sostenibilidad del sistema y medio ambiente (reducción de CO₂) [23], [24].
- Mejora la gestión técnica de las instalaciones al incrementar su eficacia y prevenir paradas de procesos [23].
- Disminuye los costes energéticos del proceso o servicio [23], [25].

En el sector ganadero es posible reducir el consumo energético mediante la mejora de eficiencia del sistema de ordeño, refrigeración, equipos de calefacción y dispositivos de iluminación, sin perjudicar la productividad, sanidad, desarrollo, confort del personal o bienestar animal [26], [27], [28].

Sistema de gestión energética (SGEn)

SGEn basado en ISO 50001 es un conjunto de elementos interrelacionados mutuamente para alcanzar los objetivos de energía, ya sea a través de procesos, acciones o procedimientos que faciliten establecer un ciclo de mejora continua del desempeño energético [29], [30], [31].

El sistema de gestión se enfoca en el ciclo de mejora continua del desempeño energético (DEn) con la metodología PHVA: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, cada etapa contiene cierto requisito [30], [31], [32], [33]. La figura 2 visualiza las fases.

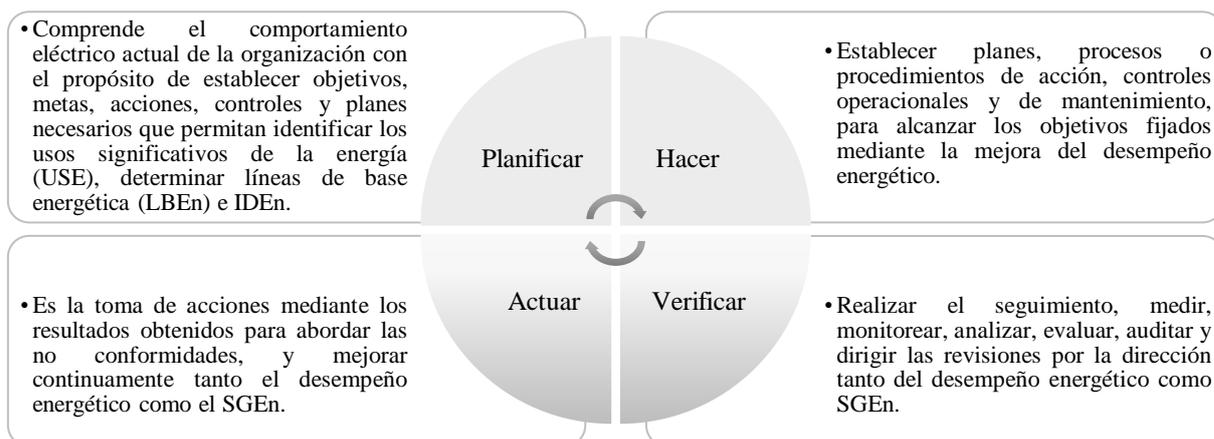


Fig. 2. Ciclo de mejora continua PHVA.

Fuente: [30], [31].

Beneficios

Son varios los beneficios que proporciona la implementación de un SGE en una organización. A continuación, se detallan algunos [30], [34]:

- Incrementa la competitividad por aprovechar al máximo los recursos energéticos, que a su vez brinda un ahorro de costes [30], [34], [35].
- Permite determinar la línea base energética de cada proceso [30].
- Ayuda a identificar, establecer, priorizar, monitorizar y mejorar los IDEn [30], [34], [35].
- Facilita la detección continua de oportunidades para reducir los costos energéticos [30], [35], [36].
- Genera un aporte real al desarrollo sostenible [30].
- Reduce el uso y consumo de energía entre un 10 a 20% [30], [35].
- Disminuye las emisiones de CO₂ sin perjudicar la productividad [30], [35], [37].
- Proporciona las mejores prácticas de gestión energética [34].
- Garantiza una información de confianza y calidad para tomar decisiones [34].
- Mejora el control operacional y eficiencia de los procesos, lo cual permite disminuir tiempos perdidos por evitar paradas imprevistas [35], [36], [37].

Uso significativo de energía (USE)

USE es el consumo sustancial y/o que ofrece un elevado potencial para la mejora del desempeño energético [31], [38], [39]. Se identifican mediante un censo de carga, matrices de utilización e incluso de costes de energía en los diferentes sistemas, procesos productivos, equipos, instalaciones, entre otros [33], [35], [40].

Por otra parte, puede establecerse criterios para evaluar los distintos usos y consumos relevantes de la organización, a fin de obtener una eficiente gestión energética [29]. Algunos de ellos se muestran a continuación [29].

- Empleo del diagrama de Pareto [29].
- Nivel de consumo por sobre un límite definido (por ejemplo, si es superior al 10% del total) [29].
- Tendencia creciente considerable en algún proceso, sistema o equipo [29].

Durante la identificación del uso significativo de energía, un medidor individual para cada sistema, equipo o proceso resulta muy útil, pues los datos proporcionados por los contadores pueden brindar panoramas completos, específicos y detallados del comportamiento energético que se desea conocer dentro de la organización [29], [37].

Generalmente no es común tener medidores individuales, por tanto, resulta conveniente realizar estimaciones del consumo energético de los distintos usos eléctricos [37], [41]. La ecuación 1 facilita la obtención de los valores [37], [41].

$$E_{con} = P_n \cdot F_c \cdot RT \cdot n_h \quad (1)$$

Donde:

E_{con} : energía consumida (kW·h) [37].

P_n : potencia nominal (kW) [37].

F_c : factor de carga [37].

RT : régimen de trabajo (días/año) [37].

n_h : número de horas de funcionamiento al día (h/día) [37].

Como anteriormente fue mencionado, el diagrama de Pareto es un criterio importante para establecer el USE, por tanto, se especifica de mejor manera el método:

- *Diagrama de Pareto*

Es una representación gráfica la cual tiene por objeto listar los motivos que ocasionan un determinado efecto, jerarquizándolos de mayor a menor relevancia [42]. Esta herramienta permite tomar decisiones sobre las causas a resolver de manera prioritaria, para lograr mejor el rendimiento en la resolución de problemas [43].

Este método también conocido como la regla del 80:20, determina que aproximadamente el 80% de los efectos surge del 20% de las causas [43], [44], [45]. La gráfica es de gran

utilidad en diversos campos al permitir determinar las minorías de características vitales [43], [44], [45].

Orientado como criterio para determinar los usos significativos de energía, puede considerarse que, en una organización un 20% de los procesos representan un 80% del consumo de energía y a estos se les denomina como relevantes [29].

El diagrama de Pareto se basa en las siguientes etapas [43]:

- Establecer las causas o variables a investigar [43], [45].
- Seleccionar la unidad de medida para la valoración [45].
- Definir el período de tiempo de estudio [45].
- Obtención de los datos necesarios [42], [43], [44].
- Anotación de la frecuencia de cada elemento que aporta a la investigación y ordenarlos de manera descendente [42], [45].
- Calcular el porcentaje individual y el valor acumulado de cada elemento de la lista ordenada [42], [45].
- Elaboración del diagrama de Pareto mediante el trazado de los ejes, representación de las barras rectangulares y del gráfico lineal [42], [43].
- Análisis de resultados [42].

La figura 3 corresponde a la representación gráfica de la regla de Pareto. A continuación, se describen sus características generales:

- En el eje de las ordenadas izquierdo se indica las magnitudes de las causas o frecuencia de fallos, para un rango de cero hasta el número total de veces [42], [43].
- El eje vertical derecho describe los valores acumulados en escala de 0% a 100% [42], [43], [46].
- Mediante el trazado del eje horizontal se establecen las causas de manera ordenada por frecuencia [42], [43], [46].
- La amplitud vertical de cada barra muestra la magnitud con referencia al eje de las ordenadas izquierdo, es decir, señala la cantidad de fallos o problemas que ocasiona su respectiva causa [42], [43].
- Para la representación de la curva, se marcará el punto que une la prolongación del centro de cada barra con el valor acumulado correspondiente, referenciándolo al eje vertical derecho [42], [43], [46].

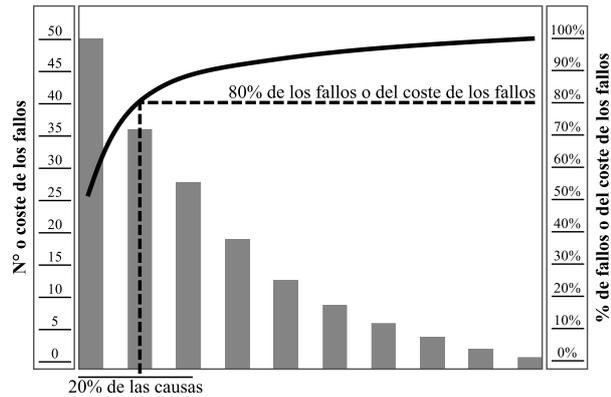


Fig. 3. Representación gráfica del diagrama de Pareto.

Fuente: [43].

Línea de base energética (LBEn)

LBEn es una referencia cuantitativa la cual proporciona la base de comparación del desempeño energético [31], [47]. Esta actividad muestra el estado del DEn antes y después de efectuar las acciones de mejora [30], [33]. Comúnmente se considera un lapso temporal anual, denominado período demostrativo [33], [48].

Se puede establecer una o varias líneas base con la información adquirida de la auditoría, esto facilita determinar los cambios (mejora o empeoramiento) generados en el comportamiento energético donde los IDEn aportan las medidas cuantitativas [30], [31], [33].

Si los datos resultantes muestran que las variables representativas perjudican de manera significativa el desempeño energético, la organización debe hacer la normalización de valores de los IDEn y las correspondientes LBEn [31].

Deberá revisarse y ajustarse las LBEn al ocurrir una o más de las siguientes circunstancias [31], [32], [39]:

- a) Los IDEn ya no reflejan el desempeño energético de la organización [31], [32], [39].
- b) Existen variaciones significativas en los factores estáticos (procesos, instalaciones, sistemas, equipamientos) [31], [32], [48].
- c) Según un predeterminado método [31], [32], [39].

Un aspecto relevante es preservar y documentar los datos de las variables importantes, cambios e información de las LBEn [31], [32], [39].

La LBEn permite analizar los consumos de energía pasados y predecir el hipotético sin la incorporación de las medidas de ahorro energético (MAE) [30]. Para calcular las líneas base se usan diversos métodos, el más utilizado es el modelo de regresión [30].

A partir de los datos del consumo energético adquiridos en la auditoría y de variables que lo definen, se realiza una gráfica $y - x$ con un modelo de regresión [30]. Dada la nube de puntos resultante es obtenida una ecuación, la cual representa los valores [30].

Con la figura 4 se muestra un ejemplo de una línea base y la ecuación de regresión resultante en función del consumo de energía vs producción de materia [30]. Mediante la recta es posible obtener el parámetro R^2 (cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson), que indica la proporción (entre mayor sea, mejor será la predicción) de variación de la variable dependiente en función a la independiente [30], [44].

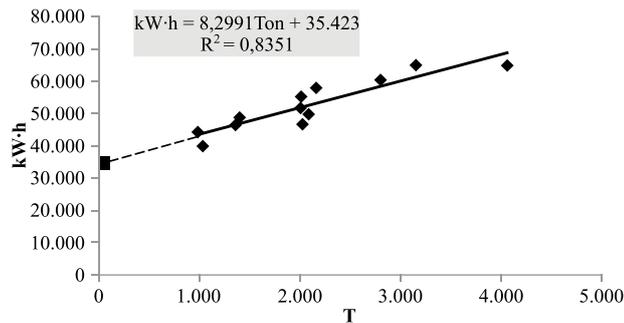


Fig. 4. Línea base de acuerdo al consumo de energía (kW·h) y producción de materia en toneladas (T).

Fuente: [30].

R^2 de la figura 4 es menor a 0,9, por tanto, es necesario plantear un ajuste con otra función matemática no lineal o a través de la selección de una variable independiente diferente [30]. La extrapolación de la línea base a través del corte en el eje y , muestra la parte del consumo energético no relacionado al proceso (productivo para el ejemplo) [30].

A través de la ecuación 2 se puede cuantificar y verificar el ahorro de energía proveniente de las medidas de eficiencia energéticas [30].

$$AhE = CE_{LB} - CE_R \pm Aj \quad (2)$$

Donde:

AhE : ahorro de energía (kW·h) [30].

CE_{LB} : consumo energético de la línea base (kW·h) [30].

CE_R : consumo energético real (kW·h) [30].

Aj : ajustes (kW·h) [49].

Indicadores de desempeño energético (IDEn)

Los IDEn son valores o medidas cuantitativas del desempeño energético (eficiencia, uso y consumo de energía del proceso, sistema, área, equipo, entre otros), conforme lo define la

organización [31], [50], [51]. Por otra parte, es posible evaluar su cambio en función a la línea base, al igual de realizar un seguimiento durante el tiempo [30].

Estos indicadores permiten normalizar los consumos energéticos e incluso facilitan la identificación de oportunidades de mejora del DEn [29], [30]. Pueden determinar si las acciones incorporadas brindan o no los resultados deseados [29]. Además, es común, establecer IDEn para cada USE previamente conocido [30].

Pueden clasificarse los IDEn en 4 tipos: valor de energía medida (kW·h o litros de combustible), ratio kW/unidad (kW·h/t, km/l, kW·h/kg, kW·h/m², kW·h/personas), modelo estadístico y de ingeniería [29], [30]. La tabla 2 visualiza algunos indicadores.

El comportamiento de los resultados del DEn en relación con la LBEn es reflejado mediante el indicador base 100, cuyo valor cien debe usarse como cumplimiento [30]. Este índice visualiza el porcentaje del consumo energético de un área, proceso o equipo, que ha alcanzado el valor de la línea de referencia, para datos de la misma variable relevante (temperatura, grados/día, producción, entre otras) [30].

Por otra parte, con el valor del indicador base 100 es posible encontrar el porcentaje de incremento o reducción del DEn, ya sea debido a la variación en la eficiencia energética de la tecnología, proceso u otros, cambio durante las prácticas de uso de la energía y consumo eléctrico a causa del mantenimiento [30].

Tabla 2. Índices de desempeño energético.

Indicador	Unidad
Intensidad energética: consumo de energía en un proceso (o producto) en relación con el consumo total de energía.	kW·h proceso o producto/kW·h totales
Consumo de energía por producto manufacturado.	tep/unidad de producto, kW·h/u. prod
Consumo eléctrico unitario por empleado.	kW·h/empleados
Cantidad de emisiones de CO ₂ , NO _x , partículas, etc., por tonelada de productos manufacturados.	kg de CO ₂ , NO _x , partículas/t. prod.
Consumo de energía por unidad de superficie.	kW·h/m ² de superficie calefactada, kW·h/m ² de superficie refrigerada
Consumo de energía para ACS.	kW·h/m ³ de agua consumida
Consumo eléctrico unitario en un edificio.	kW·h/hogar o edificio
Consumo de gas natural.	GJ/u. prod., GJ/ kW·h, GJ _{gas natural} /GJ _{vapor}

Fuente: [29], [30], [49], [52].

El indicador de desempeño energético 100 (IDEn 100) se calcula en relación a la línea base mediante la siguiente expresión [30], [32]:

$$IDEn\ 100 = \left(\frac{CE_{LB}}{CE_R} \right) (100) \quad (3)$$

Su valor resultante refleja lo siguiente:

- Cuando el IDEn 100 es mayor del 100% existe una mejora del DEn, debido a que el consumo energético ha sido inferior al de la LBEn en relación a ese nivel de variable relevante [30].
- Si el IDEn 100 es menor del 100% existe una reducción del DEn, debido a que el consumo energético ha sido mayor al de la línea base para ese nivel de variable relevante [30].

Auditoría energética (AE)

La AE es un análisis y revisión sistemática tanto del uso como consumo energético de la organización, cuyo propósito radica en identificar, detectar, cuantificar e informar medidas de eficiencia energética que reflejen oportunidades para la mejora del DEn [50], [53].

Dentro del contexto de un SGen, la AE es un proceso clave en la identificación de las MAE, debido a que facilita establecer una línea base y obtener los IDEn para disminuir el coste de energía, sin perjudicar la calidad del servicio o actividad brindada [30], [54].

Objetivos

- Identificación de usos y consumos de energía [54].
- Análisis del comportamiento energético [54].
- Evaluación de medidas de mejora en eficiencia energética (MMEE) [54].
- Disminución de costes energéticos sin afectar las prestaciones exigidas en el proceso [30].

Etapas

El proceso de la auditoría energética conforme a la norma ISO 50002 consta de las etapas mostradas en la figura 5 [50].

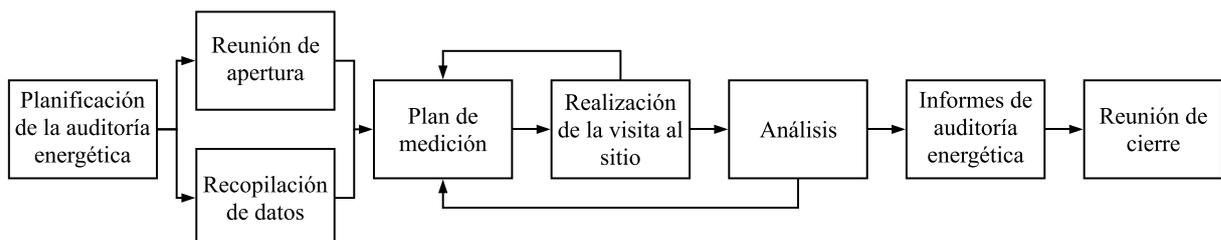


Fig. 5. Diagrama de flujo del proceso de la AE de acuerdo a la norma ISO 50002.

Fuente: [50].

Balance energético

Este balance es la contabilización del flujo energético desde las entradas y/o generación de suministro eléctrico hasta su empleo final, basadas tanto en el consumo como uso de electricidad, de modo que el ingreso y salida de energía sean iguales [50], [52], [54].

1.2.2. Sistema de iluminación

Es aquel sistema que a través de su operación brinda una determinada cantidad de luz con adecuados niveles de calidad, mediante la cual se puede desarrollar diversas actividades bajo un entorno de confort visual [55].

Conceptos generales de luminotecnia

Flujo luminoso

Según la figura 6, el flujo luminoso hace referencia a la cantidad de luz que puede emitir una fuente de iluminación [55]. Se mide en lúmenes (lm) y es representado por la letra griega ϕ [56].

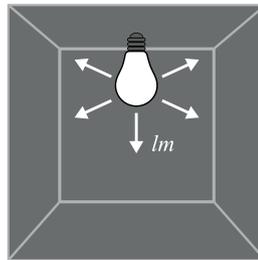


Fig. 6. Flujo luminoso.

Fuente: [55].

Iluminancia

Definida como la relación entre la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa y el área a iluminar (véase figura 7) [55]. Su unidad de medida es el lux ($lx = lm/m^2$), se expresa mediante la letra E [56].

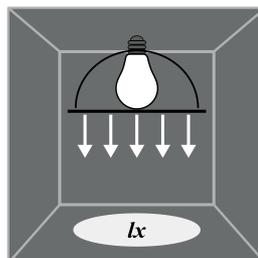


Fig. 7. Iluminancia.

Fuente: [55].

Intensidad luminosa

Es la cantidad de luz artificial que puede emitir una fuente de iluminación por unidad de ángulo sólido (ver figura 8) [55]. Se mide en candelas (cd), designada a través del símbolo I [56].

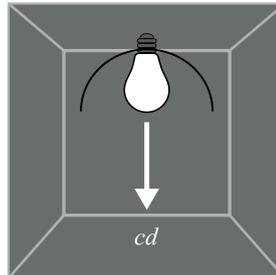


Fig. 8. Intensidad luminosa.

Fuente: [55].

Luminancia

Comúnmente denominada como brillantez, hace alusión a la intensidad luminosa reflejada por una superficie (figura 9) [55]. La luminancia L es medida en candelas/m² o nit [56].

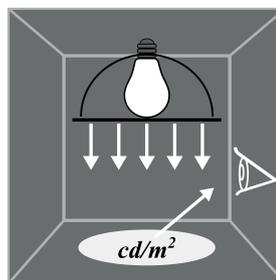


Fig. 9. Luminancia.

Fuente: [55].

Rendimiento luminoso

De acuerdo con la figura 10, el rendimiento o eficacia η se define como el cociente entre la cantidad de luz emitida por una fuente y la potencia activa que consume para generar el flujo luminoso, su unidad de medida es lm/W [55], [56].

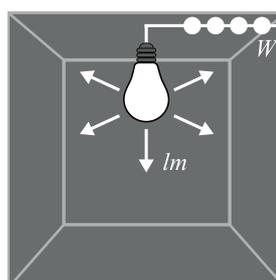


Fig. 10. Rendimiento luminoso.

Fuente: [55].

Deslumbramiento

Es la sensación de malestar ocasionada en la visión del observador a causa de un exceso de luminancia [57]. Existen dos tipos de deslumbramiento: perturbador y molesto [57]. El primero ocasiona temporalmente una visibilidad borrosa con bajo contraste, el segundo provoca fatiga visual por la intensidad luminosa elevada [57].

Uniformidad global de iluminación

Expresada como la relación entre la iluminación mínima y la media de la superficie [57]. Es adimensional, pero se simboliza mediante U_0 [57].

Curvas isolux

Estos diagramas describen la forma y magnitud de la emisión luminosa proveniente de una fuente (ver figura 11) [58]. Las curvas isolux hacen mención a la iluminación, mismas que son obtenidas de manera experimental o mediante cálculo a partir de la matriz de intensidades [58].

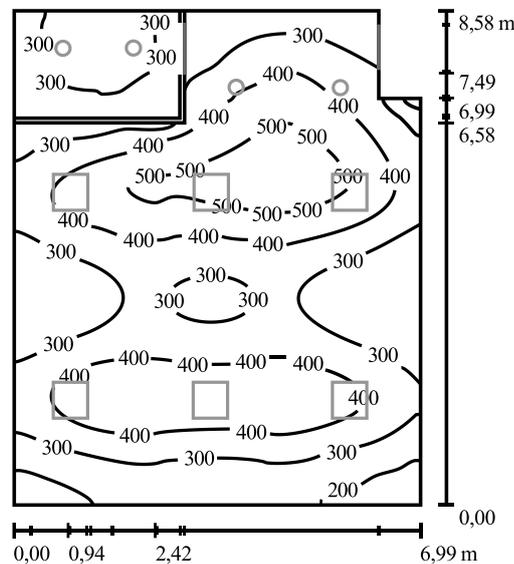


Fig. 11. Curva isolux.

Fuente: [59].

Iluminación de interiores

Mediciones de iluminación

Para la medición de los niveles de iluminación con el mínimo posible de error, es recomendable seguir los siguientes criterios [57]:

- Previo a la toma de datos in situ, la sonda deberá tener puesto su protector hasta que el luxómetro indique un valor de iluminación cero; así mismo, antes de registrar la medida

de iluminancia es conveniente esperar cinco minutos con el sensor expuesto a la luz, para estabilizar la fotocélula [60], [61].

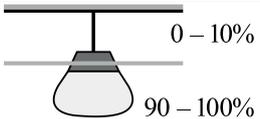
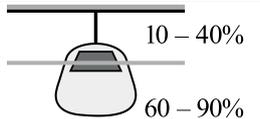
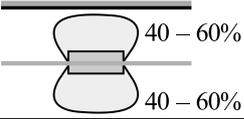
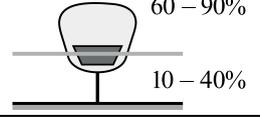
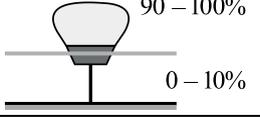
- Los puntos donde estará situado el luxómetro serán aquellos de interés para el objeto por el que se efectúa el estudio lumínico, es decir, al realizar tareas específicas se debe medir en el plano de trabajo y con su misma inclinación [57], [60].
- Para áreas pequeñas puede bastar con una única medición, pero, si el área es grande, se requiere evaluar varios puntos en el plano de trabajo [57].
- En espacios de uso general, para la medición de los niveles de iluminancia se sitúa el equipo a una altura de 85 cm sobre el suelo [60].
- Por el contrario, en vías de circulación, las mediciones de iluminación se las lleva a cabo a ras del suelo [60].
- Efectuar las medidas de iluminancia en el centro de cada área o plano de trabajo [61].

Sistemas de iluminación según la distribución del flujo luminoso

- *Iluminación directa*: casi todo el flujo luminoso está orientado hacia la superficie a iluminar [57]. Son sistemas muy económicos de alto rendimiento lumínico, sin embargo, este tipo de iluminación ocasiona sombras profundas y riesgo de deslumbramiento [57].
- *Iluminación semidirecta*: la mayoría del flujo luminoso se dirige directamente al plano de trabajo y una pequeña cantidad es reflejada en el techo o paredes [57]. Lo que reduce el deslumbramiento además de suavizar las sombras [57].
- *Iluminación indirecta*: en este sistema casi todo el flujo luminoso se orienta al techo, pero, económicamente es la más cara debido a que la absorción se incrementa notablemente [57].
- *Iluminación semiindirecta*: se origina si la mayor parte del flujo luminoso proviene de techos y paredes, lo que produce elevadas pérdidas por absorción e incrementos del consumo energético [57].
- *Iluminación difusa*: comúnmente denominada como mixta, el flujo luminoso se divide en partes iguales entre directo e indirecto [57]. El deslumbramiento es bajo y las sombras desaparecen, por el contrario, los sitios iluminados mediante este sistema tienen aspecto monótono, además, de no dar relieve a los objetos [57].

En la tabla 3, se indica el valor porcentual del flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo del plano horizontal, de acuerdo a la clasificación de los sistemas de iluminación [62].

Tabla 3. Valor porcentual del flujo luminoso total distribuido.

Sistema de iluminación		Distribución del flujo luminoso	
		Hacia arriba (%)	Hacia abajo (%)
Directa (D.)		0 – 10	90 – 100
Semidirecta (Sd.)		10 – 40	60 – 90
Indirecta (Id.)		90 – 100	0 – 10
Semiindirecta (Sid.)		60 – 90	10 – 40
Difusa (Df.)		40 – 60	40 – 60
D.		Sd.	
Df.			
Sid.		Id.	

Fuente: [62], [63], [64].

Métodos de alumbrado

Estos métodos muestran cómo se efectúa el reparto de las áreas iluminadas [57]. De acuerdo al grado de uniformidad se tendrá los siguientes tipos de alumbrado [57]:

- *Alumbrado general:* las luminarias o puntos de luz se ubican de forma simétrica entre ellas, como resultado, la iluminancia en el área es uniforme [57], [65]. Esto ocasiona que el consumo de energía por iluminación tienda a incrementarse (véase la figura 12) [65].

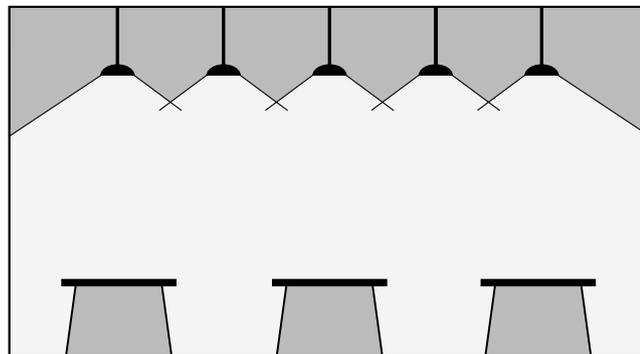


Fig. 12. Alumbrado general.

Fuente: [57].

- *Alumbrado localizado:* según la figura 13, este sistema se define por una distribución irregular de las luminarias, lo que provoca altos niveles de iluminación solamente en áreas de interés [57], [65].

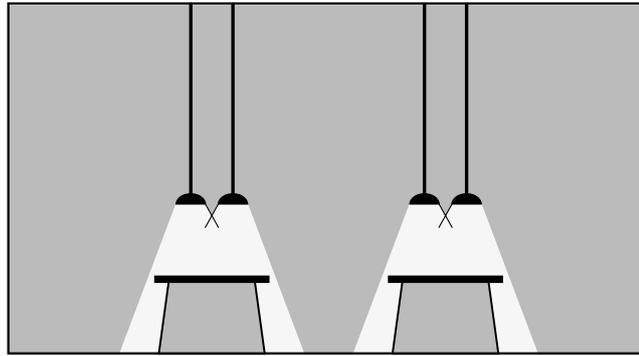


Fig. 13. Alumbrado localizado.

Fuente: [57].

- *Alumbrado general localizado:* este método se emplea si es necesario aumentar el nivel de claridad de zonas en particular [57], [65]. La iluminación general es reducida respecto a dichas áreas, lo que puede ocasionar proyección de sombras por la baja uniformidad (figura 14) [57], [65].

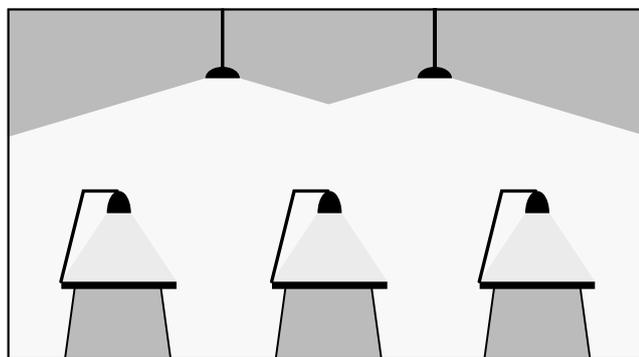


Fig. 14. Alumbrado general localizado.

Fuente: [57].

- *Alumbrado modularizado:* de acuerdo con la figura 15, la distribución de las luminarias en este sistema da lugar a una iluminación media alta, por lo cual, la uniformidad es excelente y se reducen tanto los contrastes como la proyección de sombras [57].

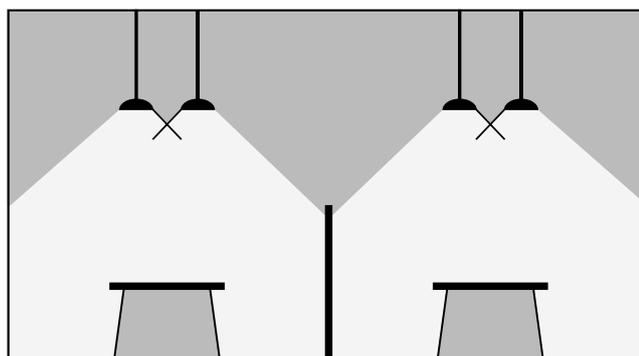


Fig. 15. Alumbrado modularizado.

Fuente: [57].

Altura de suspensión de las luminarias

Dentro del diseño lumínico es importante establecer la amplitud de suspensión de las luminarias de acuerdo al sistema de iluminación seleccionado [58]. En la tabla 4 se presenta la metodología de cálculo, donde:

h : distancia vertical desde las luminarias hasta el plano útil de trabajo, ubicado a 0,85 m del piso [58].

h' : altura total del local en m [58].

d' : amplitud vertical de las luminarias al techo en m [58].

Tabla 4. Altura de suspensión de las luminarias.

Tipo de local	Altura de las luminarias	
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas, etc.).	Lo más altas posibles.	
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa.	Mínimo	$h = \frac{2}{3}(h' - 0,85)$ [m]
	Óptimo	$h = \frac{4}{5}(h' - 0,85)$ [m]
Locales con iluminación indirecta.	Mínimo	$d' = \frac{1}{4}(h' - 0,85)$ [m]
	Óptimo	$d' = \frac{3}{4}(h' - 0,85)$ [m]

Fuente: [58].

Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

Su cuantificación se la realiza mediante el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) expresado en W/m² por cada 100 lx, a través de la siguiente expresión [57], [62], [66], [67], [68].

$$VEEI = \frac{(P)(100)}{(S)(E_m)} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})] \quad (4)$$

Donde:

P : potencia total instalada en lámparas más equipos auxiliares (W) [57], [62], [66].

S : superficie iluminada (m²) [57], [62], [66].

E_m : iluminancia media horizontal mantenida (lx) [57], [62], [66].

En la tabla 5 se establece los valores de VEEI límite para zonas de no representación, donde priorizan los niveles de iluminación, el confort visual, la seguridad y sobre todo la eficiencia energética [57].

Tabla 5. Valores de eficiencia energética límite (VEEI).

Valores de eficiencia energética límite		
Grupo	Zona de actividad diferenciada	VEEI límite
1 Zonas de no representación	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Zonas comunes	4,5
	Aparcamientos	5
	Bodega	6,0
	Recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior	4,5

Fuente: [57], [67], [69].

Potencia máxima instalada por unidad de superficie

Consiste en la relación entre la potencia nominal de las lámparas conectadas para alumbrado y el área a iluminar, su cálculo se lo realiza mediante la ecuación 5 [59], [62].

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{(P)(N)}{S} \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (5)$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$: potencia máxima instalada por unidad de superficie [59], [62].

P : potencia nominal de la lámpara (W) [59], [62].

N : número de luminarias [59], [62].

S : superficie iluminada (m^2) [59], [62].

Iluminación de exteriores

Un sistema de iluminación exterior tiene la funcionalidad de iluminar áreas externas de cualquier tipo de edificación, para destacar el ambiente en períodos sin luz natural y permitir diferenciar la forma de la zona, conjuntamente con sus objetos o infraestructuras [70].

Factor de mantenimiento de luminarias

Este factor estima la cantidad porcentual de los lúmenes iniciales que se conserva en el instante del mantenimiento [71]. Es dependiente del grado de limpieza de la luminaria y su valor está entre 0,50 a 0,85 (luminarias cerradas), donde, generalmente 0,75 corresponde a luminarias abiertas [60], [72].

Altura de montaje de la luminaria

Definida como aquella distancia vertical existente entre la superficie y el punto centro de la luminaria [72], [73]. En la tabla 6 se visualiza una altura de montaje apropiada con base a la potencia de la lámpara [72], [73].

Tabla 6. Altura de montaje de luminarias.

Potencia (W)	Altura de montaje (m)
400	12 m o mayor
250	Entre 9 m y 12 m
90 – 135	Entre 9 m y 12 m
89 – 125	De 8 m a 10 m
50	Mayor de 6 m

Fuente: [73].

Saliente de la luminaria

El saliente de la luminaria no debe superar un cuarto de la altura de montaje, caso contrario se produciría inconvenientes mecánicos, reducción de la visualización de los objetos u obstáculos presentes en el área a iluminar y problemas estéticos [72].

En la figura 16 se visualiza de manera gráfica las definiciones previamente descritas, donde, H corresponde a la altura de montaje, p a la saliente de la luminaria y r la extensión o brazo de soporte [72].

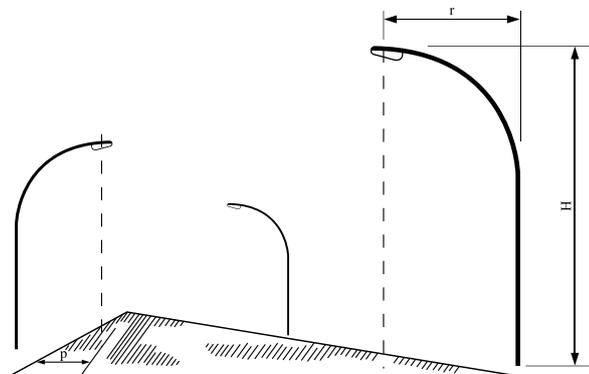


Fig. 16. Iluminación exterior.

Fuente: [72].

Lámparas LED (Light-Emitting Diode)

Las lámparas led están compuestas de uno o varios diodos emisores de luz, los cuales, para su energización se requiere emplear un driver, que transforma la corriente alterna (c.a.) a continua (c.c.) y adapta el voltaje de salida según las necesidades del dispositivo [64].

Su principal ventaja frente a los sistemas convencionales de iluminación es el rendimiento luminoso por vatio (lm/W) [60]. El ciclo de vida útil de los leds puede alcanzar hasta las 50.000 horas, mucho mayor que los tubos fluorescentes (10.000 horas) y las bombillas incandescentes (2.000 horas) [60]. Finalmente, el tiempo de encendido es alrededor de 250 ms, además, en caso de reencendido no requiere enfriarse [60].

Iluminación natural de edificios para fábricas y talleres

La normativa NTE INEN 1 154 tiene como propósito establecer los requisitos de la iluminación necesaria en el interior de edificios, fábricas y talleres [74]. La tabla 7 presenta los valores de iluminancia recomendados según las actividades a desarrollarse [74].

Tabla 7. Valores recomendados de iluminación.

Edificios industriales		Iluminación (Lux)	Factor de luz natural
<i>Edificios para granjas (lecherías)</i>	Cuartos para leche.	50	0,62
	Cuartos de lavado y esterilización.	150	1,88
<i>Bodegas y almacenes</i>	Materiales pequeños y estantes.	150	1,88

Fuente: [74].

1.2.3. Metodología para la calidad de energía eléctrica

Nivel de voltaje

$$\Delta V_k = \left(\frac{V_k - V_N}{V_N} \right) (100\%) \quad (6)$$

Donde:

ΔV_k : variación del voltaje de suministro con respecto al nominal en el punto k (%) [75].

V_k : voltaje de suministro en el punto k, establecido como la media de las mediciones registradas (por lo menos cada 3 segundos) durante un período de 10 minutos (V) [75].

V_N : voltaje nominal en el punto k (V) [75].

En la tabla 8 se visualiza el rango aceptable de acuerdo al nivel de voltaje.

Tabla 8. Rangos aceptables para la calidad de nivel de voltaje.

Nivel de voltaje	Rango aceptable
Alto voltaje [Grupo 1 (> 40 kV y ≤ 138 kV) y Grupo 2 (> 138 kV)]	± 5,0%
Medio voltaje (> 0,6 kV y ≤ 40 kV)	± 6,0%
Bajo voltaje (≤ 0,6 kV)	± 8,0%

Fuente: [75].

Desequilibrio de voltaje y corriente

El desequilibrio de corriente (D_I) no debe sobrepasar el 10% mientras que del voltaje (D_V) el 2% [75], [76]. Matemáticamente, el cálculo es igual para los dos índices [76], [77].

$$D_i = \left(\frac{I_{m\acute{a}x} - I_{med}}{I_{med}} \right) (100\%) \quad (7)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}x}$: corriente máxima entre las fases (A) [76].

I_{med} : corriente promedio de las fases existentes (A) [76].

Distorsión armónica de voltaje

La tabla 9 muestra los porcentajes límites de distorsión armónica total e individual de voltaje en el punto de acoplamiento común (PCC) [75], [78].

Tabla 9. Rangos máximos de distorsión de voltaje.

Nivel de voltaje en el PCC	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica total [THD] (%)
Bajo voltaje ($\leq 0,6$ kV)	5,0	8,0
Medio voltaje ($> 0,6$ kV y ≤ 40 kV)	3,0	5,0
Alto voltaje [Grupo 1 (> 40 kV y ≤ 138 kV)]	1,5	2,5
Alto voltaje [Grupo 2 (> 138 kV)]	1,0	1,5

Fuente: [75], [78].

Distorsión armónica de corriente

Los porcentajes límites de distorsión armónica individual (h) y de demanda total (TDD) de corriente se visualiza en la tabla 10 [75], [78].

Tabla 10. Límites de distorsión de corriente para sistemas desde 120 V a 69 kV.

Distorsión máxima de corriente armónica en porcentaje de I_L						
Orden armónico individual (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
$20 < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
$50 < 100$	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
$100 < 1000$	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Donde:
 I_{sc} : máxima corriente de cortocircuito en el PCC.
 I_L : máxima corriente de carga demandada [componente de frecuencia fundamental (60 Hz)].

Fuente: [75], [78].

Para determinar la corriente de cortocircuito se utiliza la siguiente expresión [79]:

$$I_n = \frac{S_T}{V_n} \quad (8)$$

$$I_{SC} = \frac{I_n}{X_{T_{p.u}}} \quad (9)$$

Donde:

I_n : corriente nominal monofásica (A).

S_T : potencia aparente del transformador (kVA).

V_n : voltaje nominal entre fases (V).

$X_{T_{p.u}}$: reactancia del transformador en por unidad (p.u).

1.2.4. Radiación solar

Energía con espectro electromagnético proveniente del Sol capaz de desplazarse por el espacio en diferentes direcciones, pero al traspasar la atmósfera es sujeta a una combinación de efectos de difusión, reflexión y atenuación que afectan sus propiedades [80], [81].

La reflexión en las nubes reduce la radiación incidente sobre la superficie terrestre, la absorción tanto por vapor de agua, dióxido de carbono, ozono como aire ocasiona una alteración de sus características espectrales, y la dispersión debido a partículas afecta su distribución espacial [81].

Puede dividirse la radiación en 46% rayos infrarrojos (IR), 4% ultravioletas (UV), 49% luz visible y 1% destellos gamma [80]. Dentro del espectro (figura 17) aproximadamente, 99% de la onda electromagnética tiene una longitud de 150 a 400 nm, la parte visible conocida como luz posee sólo un rango de 400 a 780 nm, el sobrante que no es visible está conformada por la ultravioleta (menor a 400 nm) y la infrarroja (mayor a 780 nm) [82], [83].

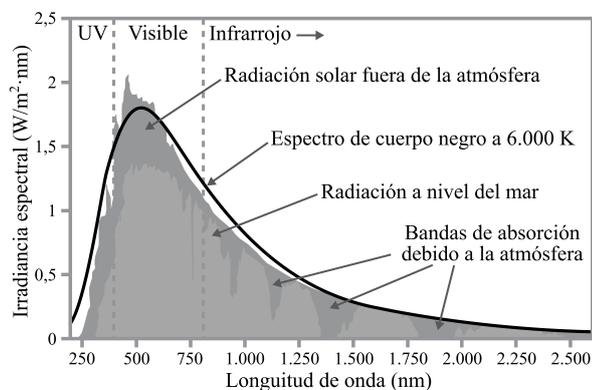


Fig. 17. Espectro electromagnético de la radiación.

Fuente: [82].

Debido a los efectos anteriormente señalados, la radiación global es originada por la suma de tres componentes básicos que se muestran en la figura 18 [84].

- *Radiación directa*: proviene directamente del Sol y no se dispersa [84].
- *Radiación difusa*: procede de la dispersión atmosférica [85].
- *Radiación de albedo*: es la reflejada por la superficie terrestre [85].

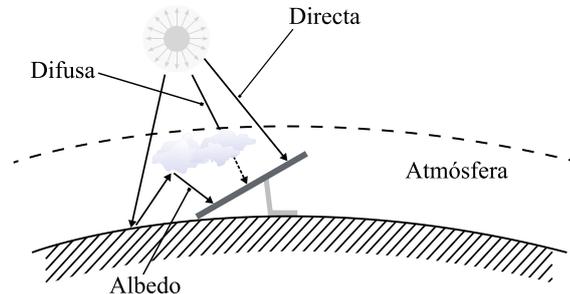


Fig. 18. Tipos de radiación solar al atravesar la atmósfera terrestre.

Fuente: [84].

Irradiancia (G)

Magnitud usada durante la medición de potencia incidente sobre una superficie [85]. Sus unidades son los W/m^2 o kW/m^2 [85].

La irradiancia del Sol sobre la atmósfera terrestre es conocida como constante solar (B_0) cuyo valor es de $1.367 \text{ W}/\text{m}^2$ aproximadamente, pero al atravesarla se disminuye a $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$ debido a los fenómenos atmosféricos [86].

Irradiación

Energía incidente sobre un área por cierto tiempo [87]. Cuantificable en $\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$, $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ o MJ/m^2 [87].

$$G_{dm} = \sum_{i=1}^p (G_i)(t_i) \quad (10)$$

Donde:

G_{dm} : valor promedio mensual de la irradiación global diaria [83].

t : tiempo de medición (h) [83].

p : número de horas [83].

Hora solar pico (HSP)

Cantidad de horas con una irradiancia ideal de $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$, que es equivalente a la irradiación total y real en un día [88]. La figura 19 muestra de manera visual el concepto.

$$HSP = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta)}{1.000 \text{ W}/\text{m}^2} \quad (11)$$

Donde:

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: valor promedio mensual de la irradiación diaria con una orientación α e inclinación β [88]. Se mide en $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ [88].

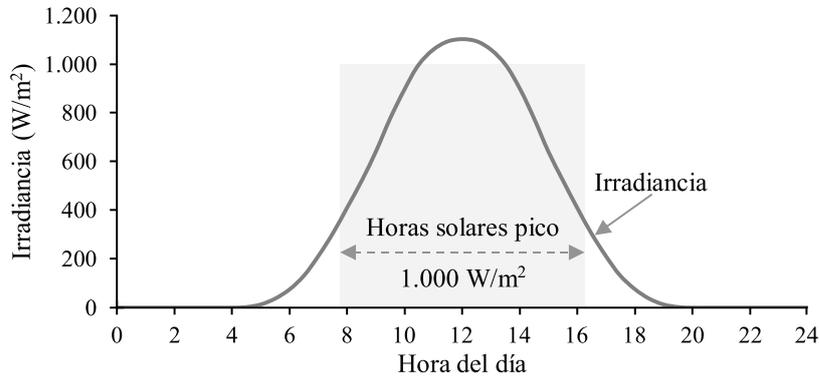


Fig. 19. Hora solar pico de un día.

Fuente: [89].

Coordenadas solares

Permiten localizar la posición del Sol con respecto a la perspectiva de un observador situado en la superficie terrestre (figura 20) [85], [90]. A continuación, se describen algunos conceptos necesarios para establecer su ubicación [85], [90].

- *Azimut u orientación solar* (ψ_s): ángulo formado tanto por el meridiano del Sol como del lugar [85]. El Norte geográfico es la referencia en el hemisferio sur y viceversa [85].
- *Altura solar* (γ_s): ángulo variable a lo largo del día originado por los rayos del Sol con respecto a la horizontal [85].
- *Cenital* (θ): ángulo generado por la dirección del Sol y la vertical del lugar [87].
- *Latitud* (ϕ): ángulo formado por la vertical del punto geográfico que se considere de la superficie terrestre y el plano del Ecuador [91].

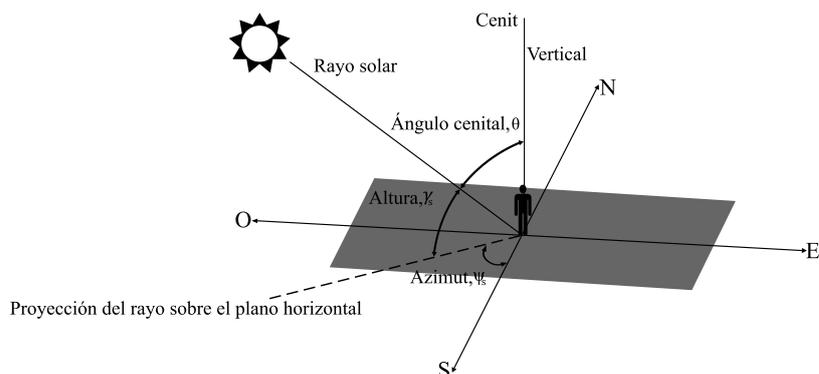


Fig. 20. Ángulos que determinan la posición del Sol en cada instante.

Fuente: [80].

Declinación solar

Es el ángulo que forma el Ecuador con el plano de la eclíptica [87]. Durante el transcurso del año su valor varía (figura 21) entre $23,45^\circ$ en verano (21 de junio) a $-23,45^\circ$ (solsticio de invierno “21 de diciembre”), pero nula al pasar por los equinoccios (primavera “21 de marzo” y otoño “21 de septiembre”) [90], [92].

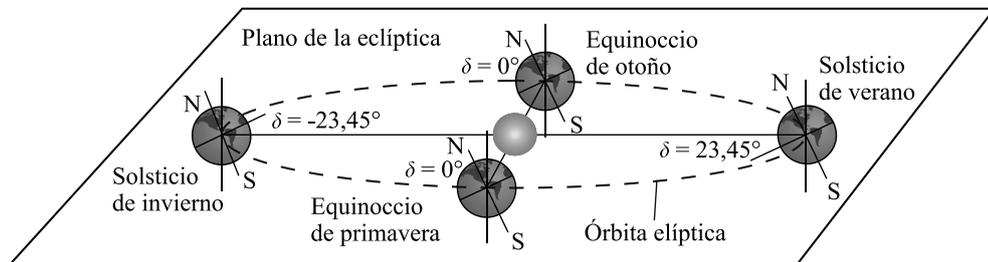


Fig. 21. Desplazamiento elíptico de la Tierra alrededor del Sol.

Fuente: [80].

1.2.5. Piranómetro Apogee MP-200

El piranómetro es un instrumento de elevada precisión capaz de medir la radiación global de onda corta que llega a la superficie terrestre en vatios por metro cuadrado (W/m^2) [85], [93].

Apogee MP-200 (figura 22) puede almacenar hasta 99 datos de manera manual o automática, con ésta segunda modalidad es capaz de registrar la radiación cada 30 segundos y promediarlas al transcurrir 30 minutos [93].



Fig. 22. Piranómetro Apogee MP-200.

Fuente: [93].

1.2.6. Analizador trifásico de calidad eléctrica y energética Fluke 435 Serie II

Es un instrumento complejo capaz de medir parámetros fundamentales como voltaje, corriente, potencia, energía, fp, armónicos, entre otros [94], [95]. El 435-II de Fluke (figura 23) permite obtener los costes de la pérdida energética ocasionada por una deficiente calidad eléctrica [96].



Fig. 23. Analizador Fluke 435 Serie II.

Fuente: [96].

El analizador de redes posee cinco entradas tipo banana usadas en la medición de los voltajes y 5 BNC para pinzas amperimétricas [96]. La figura 24 visualiza las conexiones del instrumento.

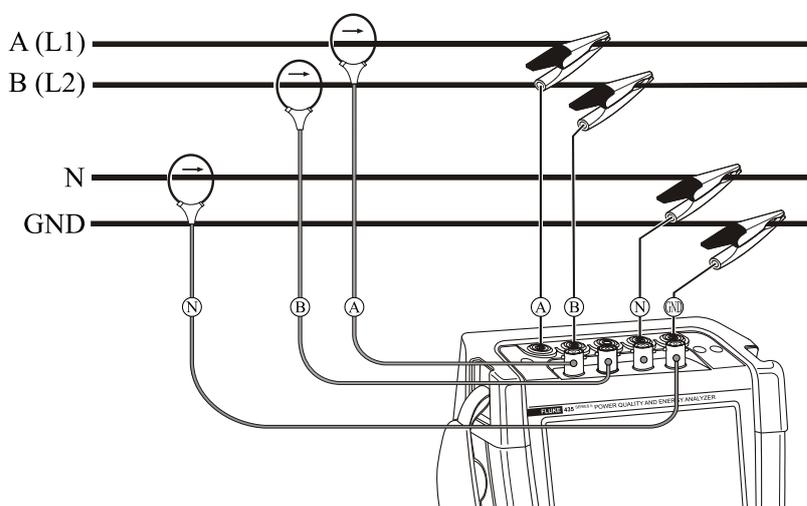


Fig. 24. Conexión del analizador en un sistema monofásico trifilar (fase dividida).

Fuente: [96].

1.2.7. Pinza amperimétrica Fluke 376 FC

Instrumento portátil de medida usado para cuantificar la intensidad de corriente que circula por medio de los conductores, sin interrumpir el funcionamiento del circuito [97]. Ciertas pinzas cuentan con una sonda la cual facilita el acceso a los cables en lugares reducidos [98], [99].

A través de la pinza amperimétrica 376 FC (figura 25) es posible medir voltaje y corriente tanto en c.a. rms como c.c., resistencia, capacitancia, frecuencia e Inrush [99]. Además, permite transmitir, observar o incluso registrar los resultados de manera inalámbrica (Bluetooth) mediante la aplicación Fluke Connect [99].



Fig. 25. Pinza amperimétrica Fluke 376 FC.

Fuente: [99].

1.2.8. Luxómetro Digi-Sense 20250-00

Este instrumento se lo emplea para la medición de los niveles de iluminación (lux) de un determinado emplazamiento [60]. Es usado primordialmente en industrias, el comercio, la agricultura, alumbrado de emergencia, entre otros sectores [60], [61].

Según la figura 26, el elemento sensible es la célula fotoeléctrica compuesta de una capa de material semiconductor (selenio), la cual convierte la energía lumínica en corriente eléctrica y se activa por medio de un galvanómetro [61].



Fig. 26. Luxómetro Digi-Sense 20250-00.

Fuente: Autores, [100].

1.3. Fundamentación metodológica

1.3.1. Modalidad de investigación

El presente informe comprendió y analizó la factibilidad de evaluar la eficiencia en la finca “La Cordillera”, el cual enmarcó una investigación cuantitativa, por puntualizar la solución al problema del desconocimiento referente a los indicadores IDEn, mediante la auditoría energética. Por consiguiente, se estableció diferentes componentes como parámetros conforme a la propuesta.

1.3.2. Tipo de investigación

Los tipos de investigación usados son: documental, descriptiva, campo y experimental, pues se requirió diversos análisis vinculados con estudios de eficiencia energética, fuentes textuales al igual que la compilación de datos.

Investigación documental

Se necesitó la investigación documental por permitir la adquisición de nuevas nociones, criterios y conocimientos relacionados con la eficiencia energética, sistemas de iluminación, radiación, proceso lácteo, basada en fuentes bibliográficas tales como libros, tesis, artículos científicos, revistas, publicaciones nacionales e internacionales, normativas, manuales, reportes técnicos, entre otras.

Investigación de campo

Fue necesario usar este tipo de investigación con el fin de recolectar datos e información relevante para el análisis de eficiencia energética en la finca “La Cordillera”. Mediante la ayuda del flexómetro fue posible la toma de medidas del lugar in situ, las cuales facilitaron la elaboración de planos. Además, al utilizar un analizador de redes Fluke 435 y el luxómetro Digi-Sense 20250-00, se determinó tanto las variaciones de demanda durante el día como los niveles de iluminación respectivamente.

Investigación descriptiva

La investigación permitió detallar los componentes y estado actual del sistema eléctrico para identificar los problemas existentes que afectan la eficiencia energética en la finca “La Cordillera”.

Investigación experimental

Esta investigación consistió en modificar las variables eléctricas bajo estudio mediante la utilización de softwares de diseño, para obtener parámetros de calidad, alcanzar la eficiencia energética y validar la hipótesis planteada.

1.3.3. Métodos de investigación

Método deductivo – inductivo

Con el presente método, tanto las mediciones de iluminación, demanda eléctrica como dimensiones de la finca, permitieron determinar los indicadores de eficiencia, y de acuerdo a la fundamentación bibliográfica se mejoraron para reducir el consumo energético.

Método analítico – sintético

En el informe se empleó este método por facilitar la integración de la información bibliográfica, mediciones de la iluminancia, parámetros eléctricos y demanda energética; las cuales ayudaron a conocer el estado actual del sistema para posteriormente plantear adecuadamente las alternativas de mejora.

Método descriptivo

A través del método fue posible efectuar una proyección esquemática mediante la cual se describe los principales resultados adquiridos en la auditoría energética, análisis de datos y beneficios económicos.

Método estadístico

Por medio del método estadístico se tabuló y visualizó ilustrativamente los resultados conseguidos de las mediciones de la radiación solar, así como de la demanda energética. Además, el diagrama de Pareto facilitó la discretización de parámetros eléctricos.

Método histórico

El método se usó durante la evaluación del comportamiento energético de la finca “La Cordillera ya que fue necesario adquirir datos históricos referentes a egresos de dinero por pago de energía eléctrica, así como la producción lechera para un período de tiempo comprendido de 1 año.

1.3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

La recopilación de datos para el análisis de eficiencia energética en la finca "La Cordillera" se registró en Excel. Además, la modelación del sistema de iluminación fue diseñado con la ayuda del software DIALux evo y los planos elaborados mediante AutoCAD.

Observación

Dentro de la adquisición de los parámetros energéticos, fue esencial usar en el análisis del informe la observación para evaluar el estado real del sistema eléctrico de la finca. Esto mediante el reconocimiento de los diversos equipos que interfieren durante el proceso lácteo, como: máquinas, iluminación, protecciones, componentes electrónicos e instalaciones.

Medición

Se utilizó esta técnica con el fin de obtener las dimensiones de la finca, niveles actuales de iluminación, radiación solar en el lapso de un año de 06:00 am a 7:00 pm, al igual que, los

parámetros energéticos, a través del uso de dispositivos e instrumentos como: flexómetro, luxómetro Digi-Sense 20250-00, piranómetro MP-200, analizador de redes Fluke 435 y pinza amperimétrica Fluke 376 FC. Por medio de estas mediciones fue posible conseguir datos fidedignos, los cuales permitieron conocer la situación real del sistema eléctrico para mejorar los indicadores de desempeño IDEn.

Cálculo

Esta técnica es primordial en el presente informe, ya que, con los diferentes parámetros adquiridos y ecuaciones de las referencias bibliográfica, se logró conocer la irradiancia, irradiación, planos, demanda máxima, consumo energético por litro de leche producido, densidad de potencia eléctrica para alumbrado y rentabilidad del estudio.

Simulación

Para mejorar los criterios de calidad luminosa de la finca “La Cordillera”, se requirió simular el sistema de iluminación mediante DIALux evo con la finalidad de obtener resultados digitales a corto plazo. El software ETAP facilitó la detección de los problemas actuales de las instalaciones eléctricas y permitió evaluar las alternativas enfocadas en alcanzar la eficiencia energética.

1.4. Conclusiones

- La auditoría energética es primordial para recopilar información relevante del desempeño de energía en la organización, pues permite establecer los USE, LBEn e IDEn, que posteriormente facilitan determinar oportunidades de mejora técnicas económicamente rentables.
- En todo sistema de alumbrado exterior e interior debe efectuarse el uso racional de la energía con adecuados niveles de iluminación según normativa, debido a lo cual, se hace necesario la aplicación del término VEEI para cuantificar la eficiencia energética de cada área iluminada.
- Los instrumentos de medida son necesarios durante la auditoría energética ya que su finalidad es obtener datos del comportamiento eléctrico, lumínico o de la radiación existente en el establecimiento donde se desee mejorar el DEn. Por tanto, para el presente estudio resulta fundamental el uso de un analizador de redes, pinza amperimétrica, luxómetro y piranómetro.

CAPÍTULO II. PROPUESTA

2.1. Título del proyecto

Auditoría energética del sistema eléctrico para mejorar los indicadores de desempeño IDEn mediante el uso eficiente de la energía.

2.2. Objetivo del proyecto

Proponer acciones orientadas a la mejora de los indicadores de desempeño IDEn mediante los problemas detectados en la auditoría energética del sistema eléctrico.

2.3. Descripción del proyecto

La auditoría energética que fue efectuada en las instalaciones ganaderas mediante la utilización del analizador de redes Fluke 435 Serie II, pinza amperimétrica Fluke 376 FC como del luxómetro Digi-Sense 20250-00, resaltó el uso ineficiente de la energía eléctrica y lumínica.

Actualmente, la finca “La Cordillera” dispone como demanda aparente máxima 9,05 kVA que representa una cargabilidad del transformador monofásico trifilar del 90,50%, producto de la caída de voltaje superior a los límites establecidos del 5% para instalaciones de fuerza o 3% en iluminación, factor de potencia inferior a 0,92 y pérdidas eléctricas.

Una iluminación adecuada constituye un aspecto trascendental dentro de la seguridad industrial, salud ocupacional como confort visual, no obstante, cada área de trabajo incumple los criterios de aceptación. El valor mínimo de iluminancia corresponde al patio de espera con 13,3 lx (< 20 lx) y el más representativo de 95,7 lx (< 100 lx) se encuentra en el cuarto de máquinas.

2.4. Procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados

2.4.1. Descripción general del suministro eléctrico de la finca

El suministro eléctrico de la finca “La Cordillera” proviene de la red perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito S.A., mediante un transformador monofásico de 10 kVA instalado en poste. La tabla 11 indica las características restantes del equipo.

Tabla 11. Datos de placa del transformador.

Datos del transformador			
Tipo	Monofásico trifilar	Impedancia (%)	3,5
Nro. serie	2886092	Alta tensión (V)	22.800
Marca	ECUATRAN	Baja tensión (V)	240/120
Potencia (kVA)	10	Frecuencia (Hz)	60

Fuente: Autores, [101].

2.4.2. Comportamiento de la energía y producción en la finca “La Cordillera”

Fue necesario identificar el portador energético representativo y evaluar el comportamiento del consumo eléctrico con respecto a la producción lechera mediante la adquisición de información durante un año. Debido a que el propietario de la finca desea reducir los egresos de dinero sin perjudicar la calidad del producto, se procede a analizar económicamente los gastos en energía.

Tabla 12. Gasto y representación porcentual por portador energético.

Descripción	USD/año	%	USD/año acumulado	% acumulado
Energía eléctrica	1.136,08	88,09%	1.136,08	88,09%
GLP	147,00	11,40%	1.283,08	99,48%
Gasolina	6,67	0,52%	1.289,75	100,00%
Total	1.289,75	100,00%		

Fuente: Autores.

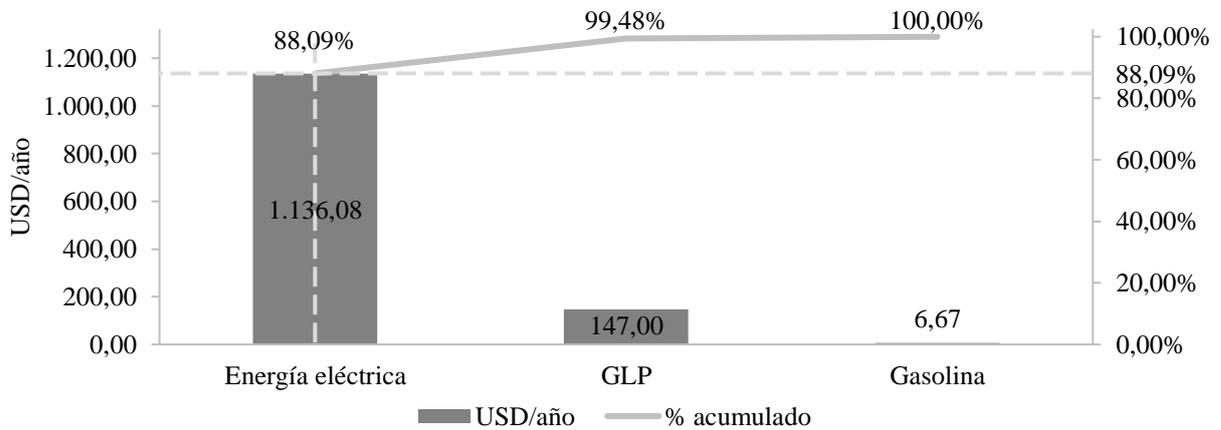


Fig. 27. Portador energético económicamente representativo.

Fuente: Autores.

De acuerdo a la figura 27, durante el período abril 2020 – marzo 2021 el egreso de dinero por pago de energía eléctrica representa el 88,09%, debido a lo cual, la investigación se enfocó en el consumo de electricidad.

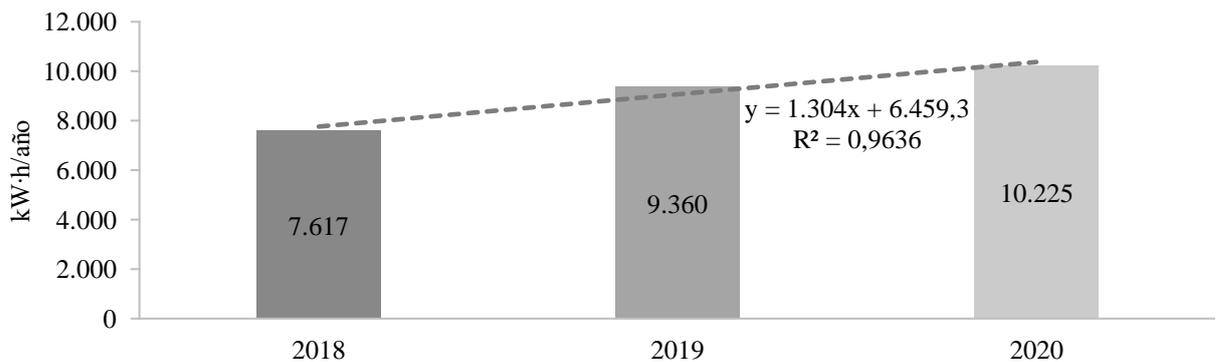


Fig. 28. Consumo energético histórico de la finca en el período 2018 – 2020.

Fuente: Autores.

La figura 28 visualiza el crecimiento del consumo de electricidad durante el 2018 – 2020, entre este período se incrementó la demanda energética en un 34,24%, debido al aumento de la producción lechera conjuntamente con el uso eléctrico inadecuado.

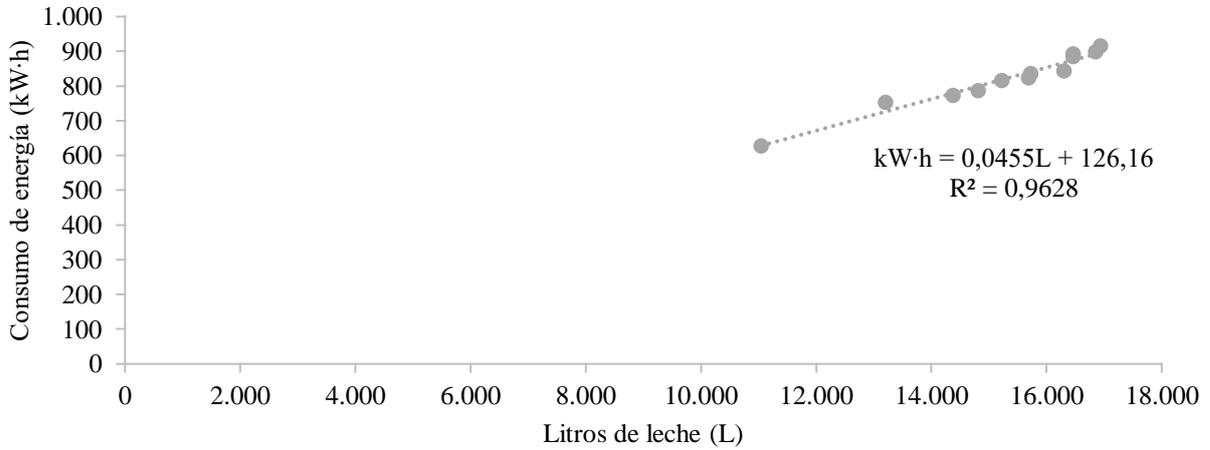


Fig. 29. Línea base conforme el consumo de energía (kW·h) y producción lechera (L).

Fuente: Autores.

El coeficiente R^2 de 0,9628 (figura 29) indica la existencia de una relación entre la variable dependiente (consumo de electricidad) e independiente (producción lechera) en el período agosto 2020 – julio 2021, sin embargo, se presentan pérdidas de energía no asociadas de 126,16 kW·h/mes, equivalentes al 15,39% de la demanda energética media (819,75 kW·h/mes) debido a la ineficiencia del sistema eléctrico. Para mayor detalle ver anexo 1 [102].

2.4.3. Calidad de energía eléctrica de la finca “La Cordillera”

Para la obtención de los parámetros eléctricos se siguió la metodología planteada del anexo 2 mediante el uso del analizador de redes Fluke 435-II, conectado en el tablero principal de la acometida durante 7 días continuos con registro de muestras cada 5 minutos [75], [103].

Análisis de los niveles de voltaje

Con la finalidad de analizar los niveles de voltaje se considera los nominales, fase – fase (240 V) y fase – neutro (120 V). La finca “La Cordillera” al ser suministrada en baja tensión, no debe sobrepasar el $\pm 8,00\%$ para tener un rango aceptable de variación (véase tabla 8).

Tabla 13. Variación del voltaje con respecto a la tensión nominal fase – neutro (120 V).

Descripción	Voltaje (V)			ΔV_k			Rango aceptable	
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo		
V_{A-N}	118,77	124,89	127,90	-1,026%	4,075%	6,583%	$\pm 8,00\%$	Cumple
V_{B-N}	118,87	124,99	127,82	-0,940%	4,158%	6,517%	$\pm 8,00\%$	Cumple

Fuente: Autores.

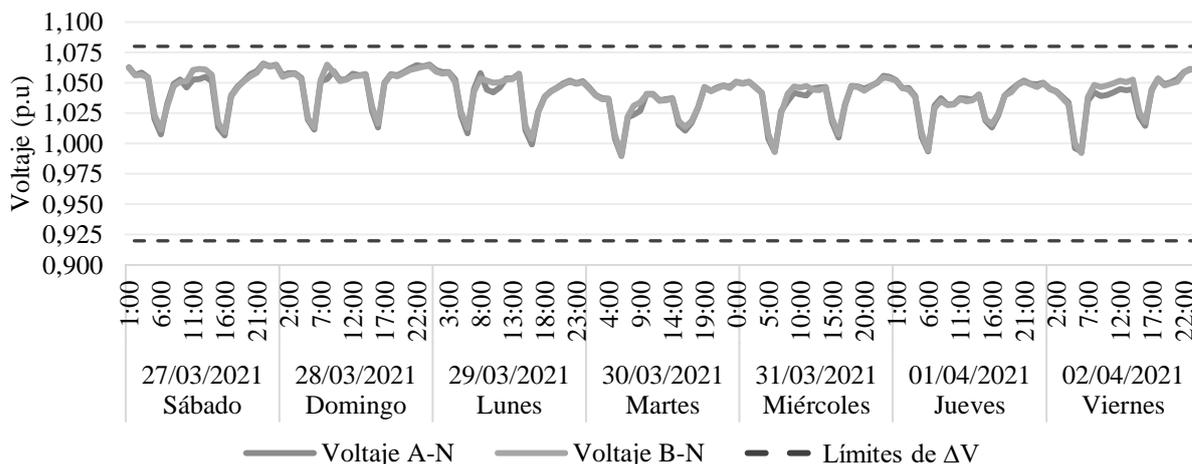


Fig. 30. Variación del voltaje fase – neutro.

Fuente: Autores.

Tabla 14. Variación del voltaje con respecto a la tensión nominal fase – fase (240 V).

Descripción	Voltaje (V)			ΔV_k			Rango aceptable	
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo		
V_{A-B}	237,64	249,88	255,72	-0,983%	4,116%	6,550%	$\pm 8,00\%$	Cumple

Fuente: Autores.

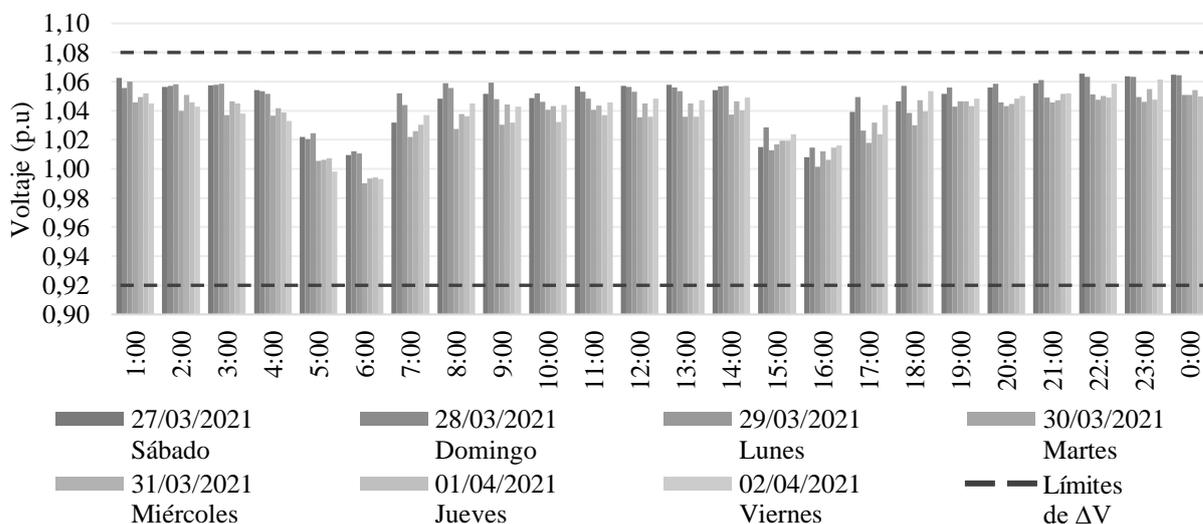


Fig. 31. Variación del voltaje fase – fase.

Fuente: Autores.

Las tablas 13 – 14 y figuras 30 – 31, muestran que las variaciones de voltaje tanto de fase – fase como fase – neutro máximas existentes el día sábado a las 22:00 h, se encuentran dentro del rango tolerable del $\pm 8\%$ con respecto a los nominales, además no existe sobrevoltajes (1,10 – 1,20 p.u) o subvoltajes (0,80 – 0,90 p.u) [77].

Desequilibrio de voltaje

Conforme los datos registrados en el analizador de redes, se obtiene la siguiente información:

Tabla 15. Valores de voltaje necesarios para determinar el desequilibrio de tensión.

Voltaje (V)			
V _{A-N}	V _{B-N}	V _{med}	V _{máx}
124,89	124,99	124,94	124,99

Fuente: Autores.

Posteriormente se determina el desequilibrio de voltaje con el uso de la expresión 7:

$$D_V = \left(\frac{V_{máx} - V_{med}}{V_{med}} \right) (100\%) = \left(\frac{124,99 \text{ V} - 124,94 \text{ V}}{124,94 \text{ V}} \right) (100\%)$$

$$D_V = 0,04\% < 2\% \checkmark$$

El porcentaje del desequilibrio de voltaje se encuentra debajo del límite permitido, por tanto, el sistema eléctrico no presenta desbalance de tensión.

Valores de corriente

Los valores de corriente son dependientes del funcionamiento de la carga durante el transcurso del tiempo.

Tabla 16. Valores de corriente.

Descripción	Corriente (A)		
	Mínimo	Medio	Máximo
I _A	8,36	30,89	41,47
I _B	6,92	28,40	34,02

Fuente: Autores.

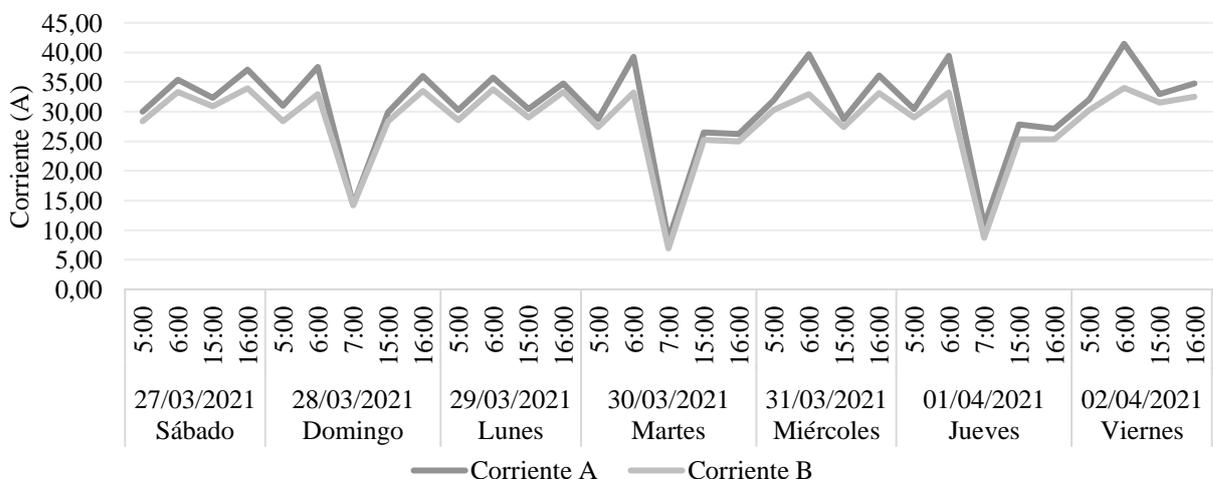


Fig. 32. Comportamiento de las corrientes por fase en horas de producción lechera.

Fuente: Autores.

En la anterior gráfica se visualiza una corriente máxima de 41,47 A presente el día viernes a las 6:00 debido al funcionamiento de la electrobomba, sin embargo, existe picos instantáneos de

hasta 96,3 A causados por el arranque de las máquinas eléctricas. Además, el perfil de la figura tiene una característica casi similar entre los diferentes días medidos.

Desequilibrio de corriente

Mediante los datos registrados por el analizador se determina la corriente media y máxima visualizadas en la tabla 17.

Tabla 17. Valores de corriente requeridos para determinar el D_I .

Corriente (A)			
I_A	I_B	I_{med}	$I_{m\acute{a}x}$
30,89	28,40	29,64	30,89

Fuente: Autores.

Seguidamente, se calcula el desequilibrio de corriente por medio de la expresión 7:

$$D_I = \left(\frac{I_{m\acute{a}x} - I_{med}}{I_{med}} \right) (100\%) = \left(\frac{30,89 \text{ A} - 29,64 \text{ A}}{29,64 \text{ A}} \right) (100\%)$$

$$D_I = 4,20\% < 10\% \checkmark$$

El valor del desequilibrio de corriente es inferior al 10%, por tanto, el sistema no tiene porcentajes de desbalance de carga.

Factor de potencia

La finca tiene un factor de potencia promedio de 0,76 durante las horas de consumo (véase tabla 18), donde los días martes y jueves a las 15:00 registran un FP de 0,60, que de acuerdo al ARCERNNR es un valor inferior límite para suspender el servicio eléctrico [104].

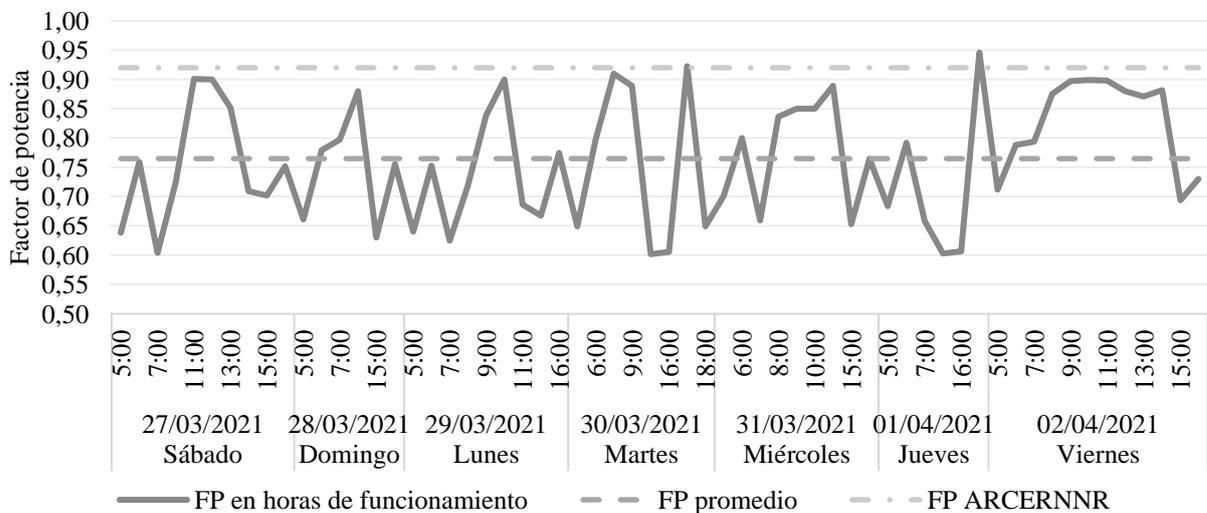


Fig. 33. Factor de potencia de la finca “La Cordillera” en períodos de consumo.

Fuente: Autores.

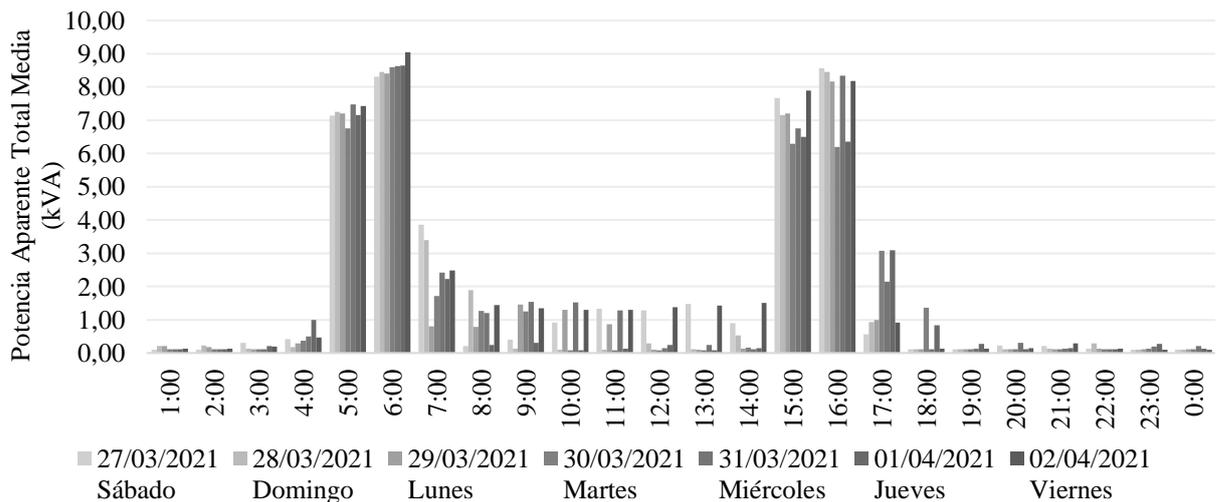
Tabla 18. Factor de potencia durante el funcionamiento de la industria láctea.

Factor de potencia			Rango aceptable	
Mínimo	Medio	Máximo		
0,60	0,76	0,95	≥ 0,92	No cumple

Fuente: Autores.

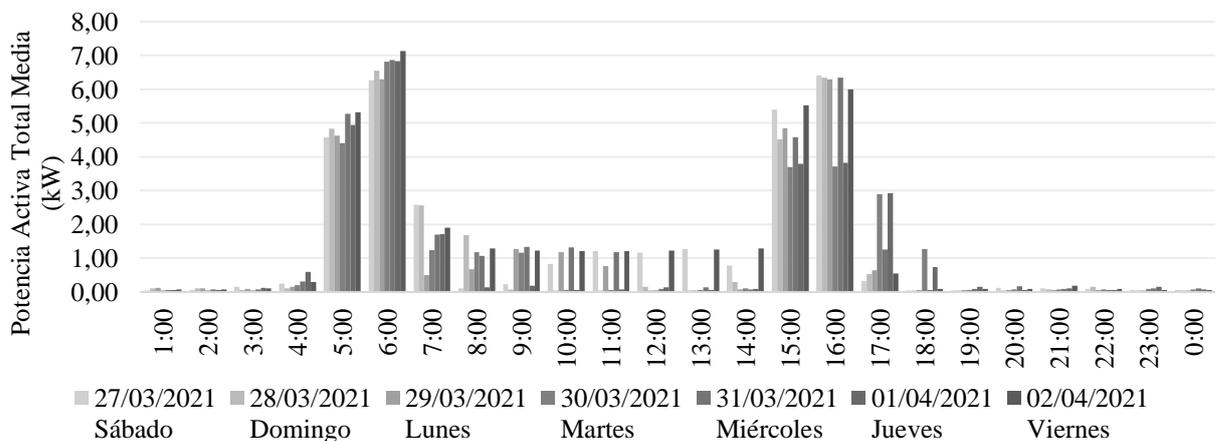
Demanda eléctrica de la finca “La Cordillera”

De acuerdo a la figura 34, durante las 6:00 del día viernes es apreciada una demanda aparente máxima de 9,05 kVA equivalentes al 90,50% de la potencia nominal del transformador, lo cual ante futuros incrementos de carga se requerirá uno de mayor capacidad.



Fuente: Autores.

La mayor productividad láctea se produjo el día viernes, donde fue registrada una demanda máxima de 7,13 kW a las 6:00, que en un intervalo de cinco minutos existió una potencia media de 7,59 kW durante las 05:45.



Fuente: Autores.

Según la figura 36, existe una potencia reactiva máxima de 5,69 kVAr el día sábado a las 16:00, que durante un intervalo de cinco minutos se registró 5,81 kVAr a las 15:45.

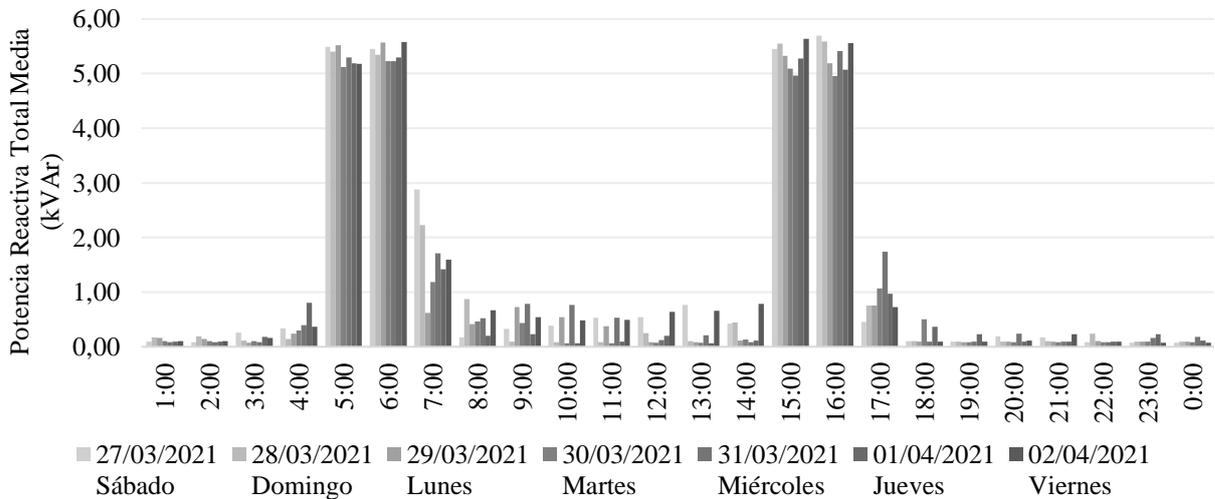


Fig. 36. Potencia reactiva promedio semanal de la finca “La Cordillera”.

Fuente: Autores.

Distorsión armónica de voltaje

Distorsión armónica individual

Dado que la industria láctea es alimentada en bajo voltaje y el punto de medición fue efectuado a 240 V, los armónicos individuales de tensión deben estar por debajo del 5,00%.

Tabla 19. Armónicos individuales de voltaje.

Orden armónico	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°
Rango aceptable	5,000%	5,000%	5,000%	5,000%	5,000%	5,000%	5,000%
Distorsión promedio máxima	2,238%	0,598%	0,246%	0,948%	0,095%	0,050%	0,053%
Cumplimiento del límite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Autores.

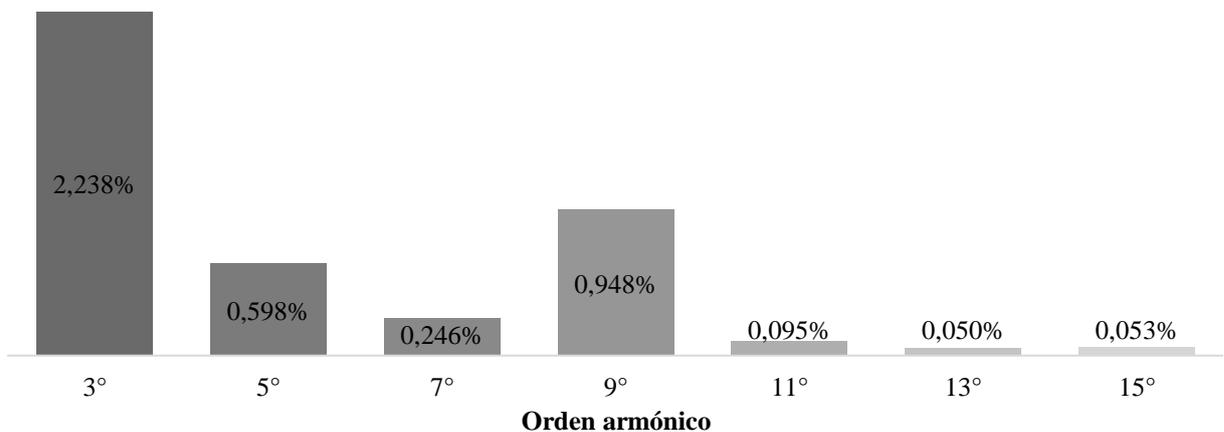


Fig. 37. Representación porcentual de la distorsión armónica individual de voltaje.

Fuente: Autores.

Los valores de la tabla 19 y figura 37 visualizan una leve presencia de los armónicos homopolares múltiplos de tres, sin embargo, su comportamiento no sobrepasa el límite establecido por la regulación.

Distorsión armónica total (THD)

Mediante los datos registrados por el analizador de energía se obtiene los porcentajes del THD detallados a continuación, mismos que deben ser inferiores al 8,00%.

Tabla 20. Valores de la distorsión armónica total de voltaje.

Descripción	Distorsión armónica total de voltaje (%)			Rango aceptable	
	THD _{A-N}	THD _{B-N}	THD promedio		
Mínimo	0,82	0,92	0,87	8,00%	✓
Medio	1,51	1,56	1,54	8,00%	✓
Máximo	2,51	2,54	2,53	8,00%	✓

Fuente: Autores.

El THD promedio máximo de las fases es del 2,53%, el cual resulta inferior al límite de la regulación.

Distorsión armónica de corriente

Distorsión armónica individual

La tabla 10 muestra los límites de distorsión armónica, por tanto, debe determinarse la relación I_{SC}/I_L . En primera instancia se calcula la corriente nominal monofásica mediante la ecuación 8.

$$I_n = \frac{S_T}{V_n} = \frac{10 \text{ kVA}}{240 \text{ V}} = 41,6667 \text{ A}$$

Luego es necesario determinar la corriente de cortocircuito en el lado de bajo voltaje con la expresión 9.

$$I_{SC} = \frac{I_n}{X_{T \text{ p.u}}} = \frac{41,6667 \text{ A}}{0,035} = 1.190,48 \text{ A}$$

Conforme la tabla 17 y los resultados obtenidos, se representa la relación I_{SC}/I_L en la siguiente tabla:

Tabla 21. Valores de la relación I_{SC}/I_L .

Descripción	$X_{T \text{ p.u}}$	I_{SC} (A)	I_L (A)	I_{SC}/I_L
I_A	0,035	1.190,48	41,47	28,71
I_B	0,035	1.190,48	34,02	35,00

Fuente: Autores.

Los valores adquiridos muestran que la relación I_{SC}/I_L está en el rango $20 < 50$, donde la tabla 10 indica un valor límite del 7,00% para los armónicos (h) comprendidos de $3 \leq h < 11$ y 3,50% correspondientes a $11 \leq h < 17$.

Tabla 22. Armónicos individuales de corriente.

Orden armónico	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°
Rango aceptable	7,000%	7,000%	7,000%	7,000%	3,500%	3,500%	3,500%
Distorsión promedio máxima	4,978%	0,703%	0,555%	0,663%	0,065%	0,071%	0,065%
Cumplimiento del límite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Autores.

De acuerdo a la tabla 22 y figura 38, el sistema eléctrico de la finca contiene una leve presencia del tercer armónico, característico en cargas monofásicas, no obstante, cumplen los límites establecidos por la regulación.

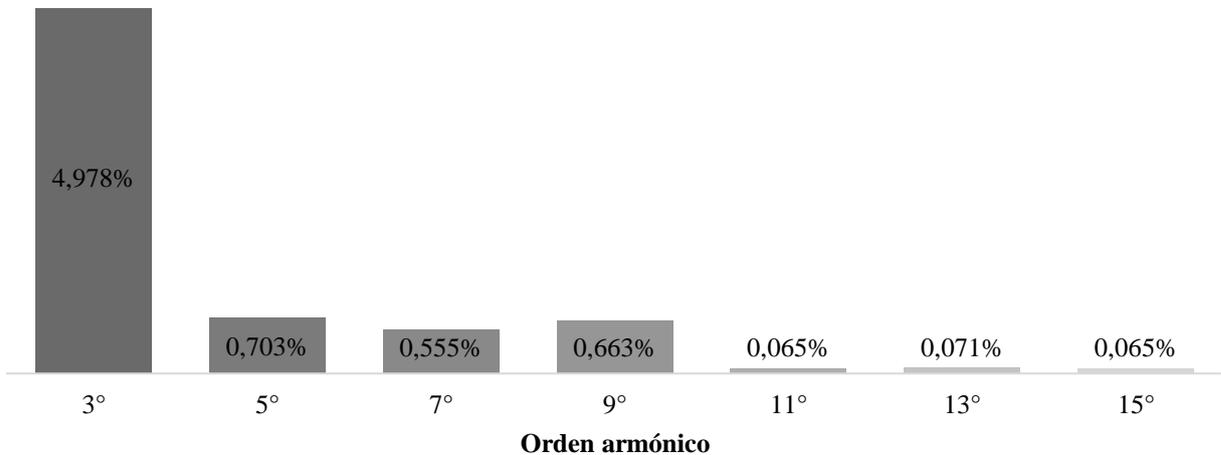


Fig. 38. Representación porcentual de la distorsión armónica individual de corriente.

Fuente: Autores.

Distorsión de demanda total (TDD)

Según la relación I_{SC}/I_L adquirida en la tabla 21, el límite de la distorsión de demanda total corresponde al 8,00%.

Tabla 23. Valores de la distorsión de demanda total.

Descripción	Distorsión de demanda total (%)			Rango aceptable	
	TDD _A	TDD _B	TDD promedio		
Mínimo	0,28	0,04	0,16	8,00%	✓
Medio	1,08	1,23	1,16	8,00%	✓
Máximo	4,87	4,40	4,64	8,00%	✓

Fuente: Autores.

La TDD promedio máxima de las fases resulta del 4,64% la cual están por debajo del 8,00% establecido.

Flicker

Acorde a la regulación 002/20 se procede analizar la perturbación rápida de voltaje de corta duración (P_{st}) cuyo valor no debe exceder la unidad [75].

Tabla 24. Flicker de corta duración.

Descripción	Flicker de corta duración			Límite	
	P_{st} A-N	P_{st} B-N	P_{st} promedio		
Mínimo	0,48	0,42	0,45	1,00	✓
Medio	0,79	0,69	0,74	1,00	✓
Máximo	0,90	0,78	0,84	1,00	✓

Fuente: Autores.

Durante el funcionamiento de la industria láctea existe un promedio máximo de 0,84 presentado el día viernes a las 5 am. En períodos de cinco minutos existen datos cercanos a 1 ocasionados por el arranque de las máquinas eléctricas. El análisis muestra que los valores cumplen el límite.

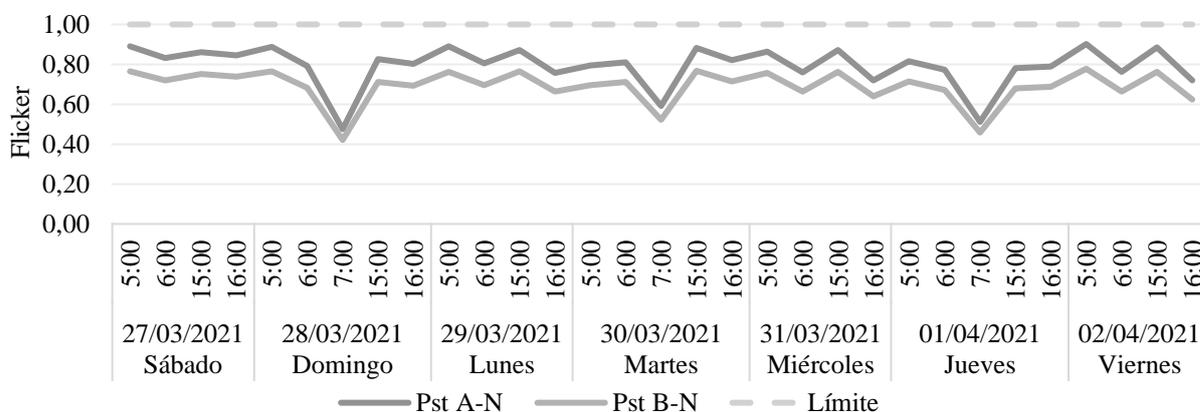


Fig. 39. Flicker de corta duración en horas de producción lechera.

Fuente: Autores.

2.4.4. Estado actual del sistema de iluminación

La tabla 25 presenta los niveles mínimos de iluminación que se deben cumplir por área de trabajo conforme a lo estipulado en las normativas NTE INEN 2248, Decreto Ejecutivo 2393 y prEN 12464-1 [108], [109], [110].

Tabla 25. Niveles mínimos de iluminación.

Normativa	Área de trabajo	Iluminación (Lux)
Accesibilidad de las personas al medio físico. Estacionamientos (NTE INEN 2248).	Plaza de estacionamiento.	30 – 100
Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores (Decreto Ejecutivo 2393).	Cuarto de máquinas.	100
	Patio de espera.	20
Light and lighting - Lighting of work places (prEN 12464-1).	Sala de ordeño.	50

Fuente: [108], [109], [110].

Variación en las mediciones de iluminación

Para la toma de datos sobre los niveles actuales de iluminación se siguió la metodología establecida en el anexo 3 y el método de los tres puntos, así, los resultados obtenidos por cada área de trabajo son detallados mediante el anexo 4 [111], [112], [113].

Conforme la tabla 26 y figura 40, las mediciones de iluminación efectuadas en el patio de espera durante 5 días presentan una variación de -2,26% a 0,75%, rango que se encuentra dentro del límite de precisión del equipo de medición de $\pm 3\%$.

Tabla 26. Variación porcentual de las mediciones de iluminación del patio de espera.

Variación porcentual de las mediciones de iluminación						
Área: Patio de espera				Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio general (lx)
Iluminación promedio (lx)	13,00	13,30	13,30	13,30	13,40	13,30
Variación (%)	-2,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,75%	

Fuente: Autores.

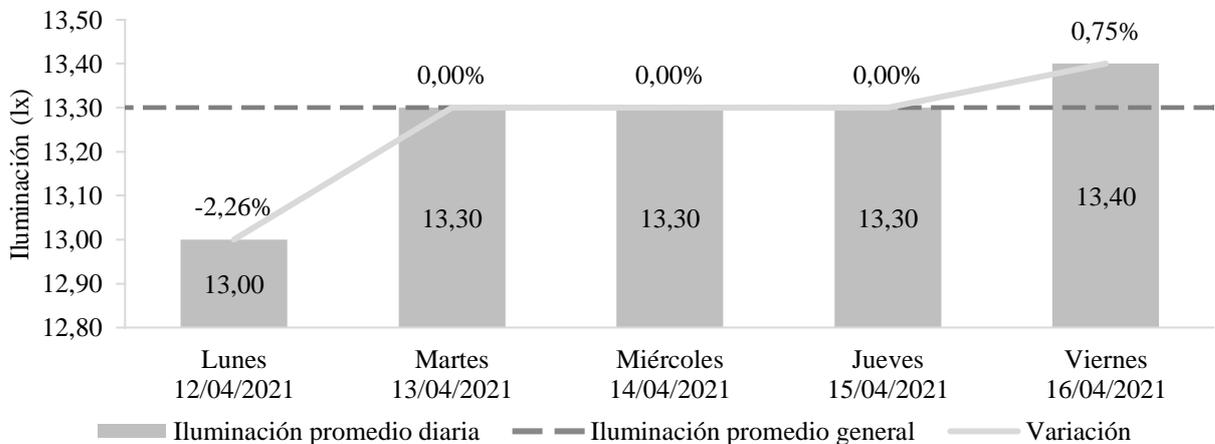


Fig. 40. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio en el patio de espera.

Fuente: Autores.

En la sala de ordeño (véase tabla 27, figura 41) las mediciones de los niveles de iluminación presentan una variación de -1,12% a 1,96%, rango que se encuentra dentro del límite de precisión del luxómetro.

Tabla 27. Variación porcentual de las mediciones de iluminación de la sala de ordeño.

Variación porcentual de las mediciones de iluminación						
Área: Sala de ordeño				Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio general (lx)
Iluminación promedio (lx)	35,40	36,40	35,30	35,60	36,00	35,70
Variación (%)	-0,84%	1,96%	-1,12%	-0,28%	0,84%	

Fuente: Autores.

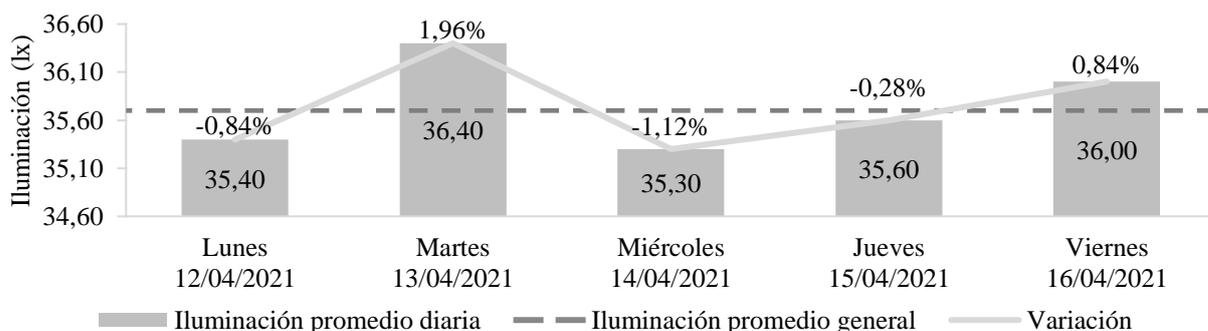


Fig. 41. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio de la sala de ordeño.

Fuente: Autores.

La iluminancia del cuarto de frío presenta una variación de -1,52% a 2,39%, misma que se encuentra dentro del límite de precisión del luxómetro de $\pm 3\%$, por lo tanto, el comportamiento la iluminación promedio diaria es semejante.

Tabla 28. Variación porcentual de las mediciones de iluminación del cuarto de frío.

Variación porcentual de las mediciones de iluminación						
Área: Cuarto de frío				Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio general (lx)
Iluminación promedio (lx)	45,80	45,70	45,30	46,00	47,10	46,00
Variación (%)	-0,43%	-0,65%	-1,52%	0,00%	2,39%	

Fuente: Autores.

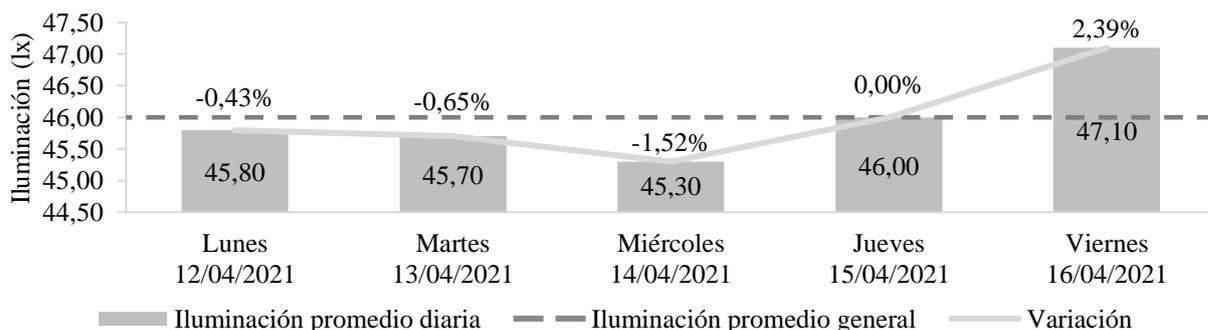


Fig. 42. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación media del cuarto de frío.

Fuente: Autores.

Respecto a las mediciones de iluminación llevadas a cabo en la bodega de balanceado presentan una variación de -0,73% a 0,61%, rango que se encuentra dentro del límite de $\pm 3\%$.

Tabla 29. Variación porcentual de las mediciones de iluminación media de la bodega de balanceado.

Variación porcentual de las mediciones de iluminación						
Área: Bodega de balanceado				Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio general (lx)
Iluminación promedio (lx)	82,50	82,30	81,60	82,70	82,00	82,20
Variación (%)	0,36%	0,12%	-0,73%	0,61%	-0,24%	

Fuente: Autores.

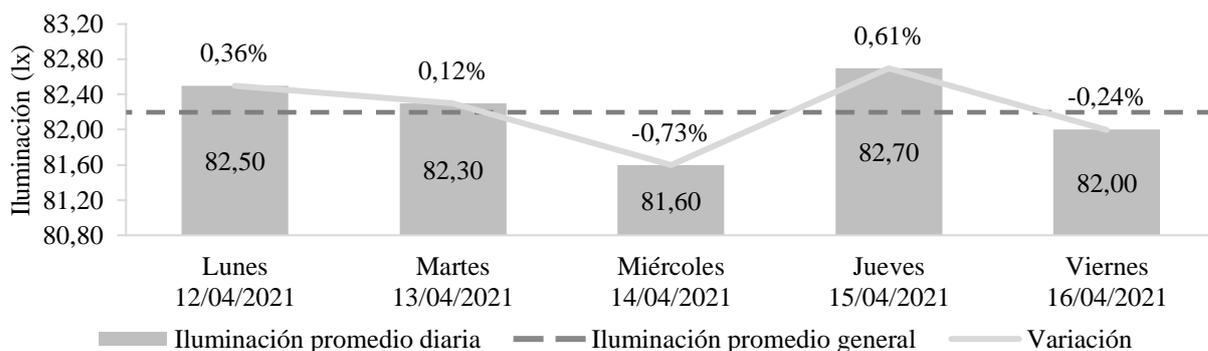


Fig. 43. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio de la bodega de balanceado.

Fuente: Autores.

El rango de la variación porcentual para la presente área de trabajo se sitúa entre -2,47% y 2,30%, resultados que están dentro del límite de precisión de $\pm 3\%$.

Tabla 30. Variación porcentual de las mediciones de iluminación del cuarto de máquina.

Variación porcentual de las mediciones de iluminación						
Área: Cuarto de máquina						Horario: 03:30 - 05:00 am
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio general (lx)
Iluminación promedio (lx)	55,70	57,50	57,90	55,20	56,90	56,60
Variación (%)	-1,59%	1,59%	2,30%	-2,47%	0,53%	

Fuente: Autores.

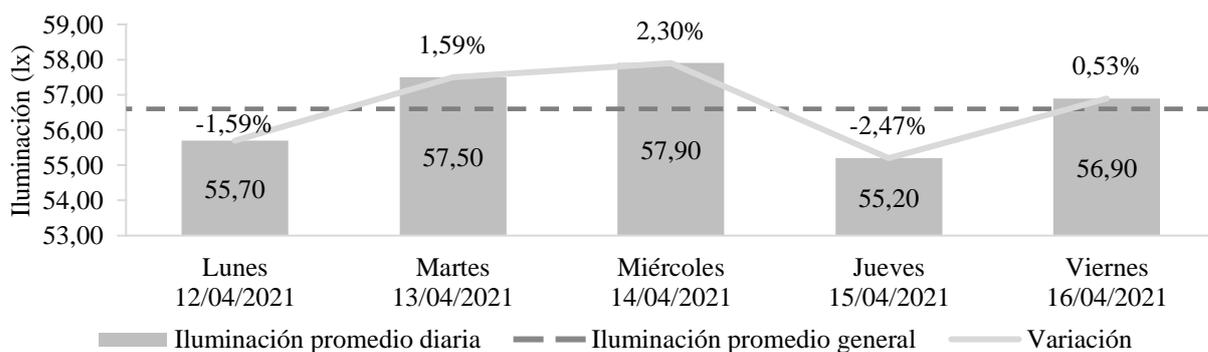


Fig. 44. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio del cuarto de máquina.

Fuente: Autores.

La variación porcentual del cuarto de máquinas se encuentra entre -0,94% y 1,25%, mismo que cumple con el límite de precisión de $\pm 3\%$.

Tabla 31. Variación porcentual de las mediciones de iluminación del cuarto de máquinas.

Variación porcentual de las mediciones de iluminación						
Área: Cuarto de máquinas						Horario: 03:30 - 05:00 am
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio general (lx)
Iluminación promedio (lx)	95,70	96,90	95,00	96,10	94,80	95,70
Variación (%)	0,00%	1,25%	-0,73%	0,42%	-0,94%	

Fuente: Autores.

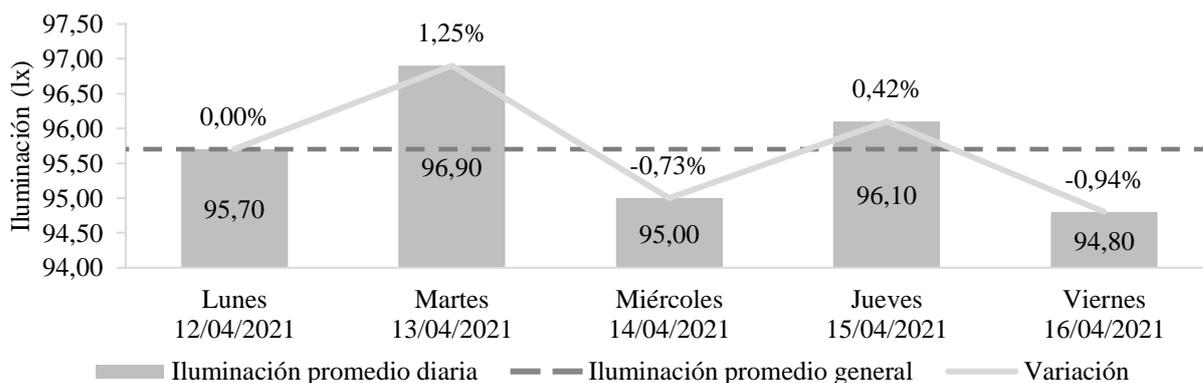


Fig. 45. Comportamiento de la variación porcentual e iluminación promedio del cuarto de máquinas.

Fuente: Autores.

Evaluación de los niveles de iluminación

Cumplimiento de los niveles de iluminación según normativa

Los niveles de iluminación de las áreas de trabajo no cumplen con los valores mínimos de iluminancia establecidos en el marco normativo, producto de la inadecuada altura de montaje, distribución de las lámparas, tipo de tecnología e inexistencia de mantenimiento preventivo.

Tabla 32. Cumplimiento de los niveles actuales de iluminación.

Área	Patio de espera	Sala de ordeño	Cuarto de frío	Bodega de balanceado	Cuarto de máquina	Cuarto de máquinas
Iluminación promedio (lx)	13,3	35,7	46,0	82,2	56,6	95,7
Criterio de aceptación (lx)	20	50	50	150	150	100
Cumplimiento	Incumple	Incumple	Incumple	Incumple	Incumple	Incumple

Fuente: Autores.

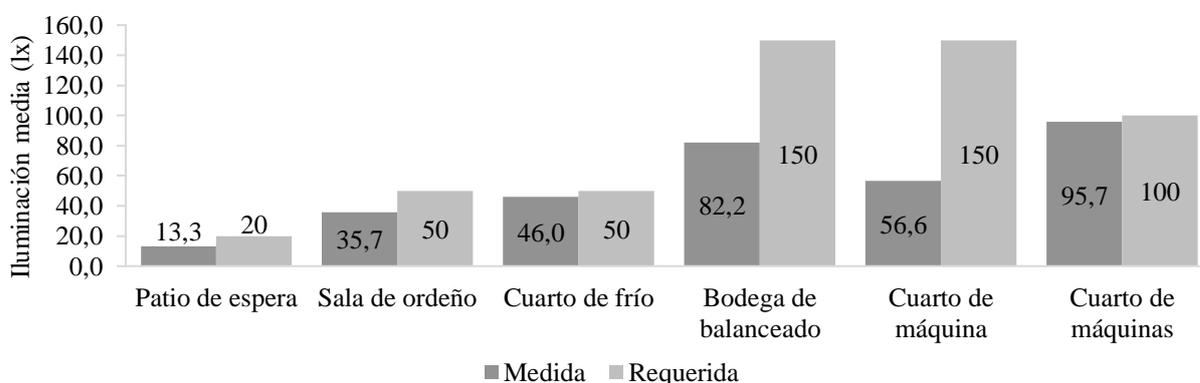


Fig. 46. Comparativa de los niveles de iluminación medidos y normados.

Fuente: Autores.

Representatividad de la simulación efectuada en DIALux evo

Para determinar la representatividad de la simulación se emplea como nivel de confianza 95% con un margen de error del $\pm 5\%$.

Tabla 33. Margen de error de las mediciones in situ con respecto a la simulación.

Área	Patio de espera	Sala de ordeño	Cuarto de frío	Bodega de balanceado	Cuarto de máquina	Cuarto de máquinas
E_m de la simulación (lx)	13,5	36,1	46,6	83,5	57,4	97,2
E_m in situ (lx)	13,3	35,7	46,0	82,2	56,6	95,7
Intervalo de confianza	12,6 – 14,0	33,9 – 37,5	43,7 – 48,3	78,1 – 86,3	53,8 – 59,4	90,9 – 100,5
Margen de error (%)	1,50%	1,12%	1,30%	1,58%	1,41%	1,57%
Cumplimiento	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Autores.

La figura 47 muestra la semejanza existente entre la iluminación promedio real con respecto a la obtenida mediante DIALux evo. Según la tabla 33, el error máximo del 1,58% se presenta en la bodega de balanceado sin superar el límite establecido del 5%.

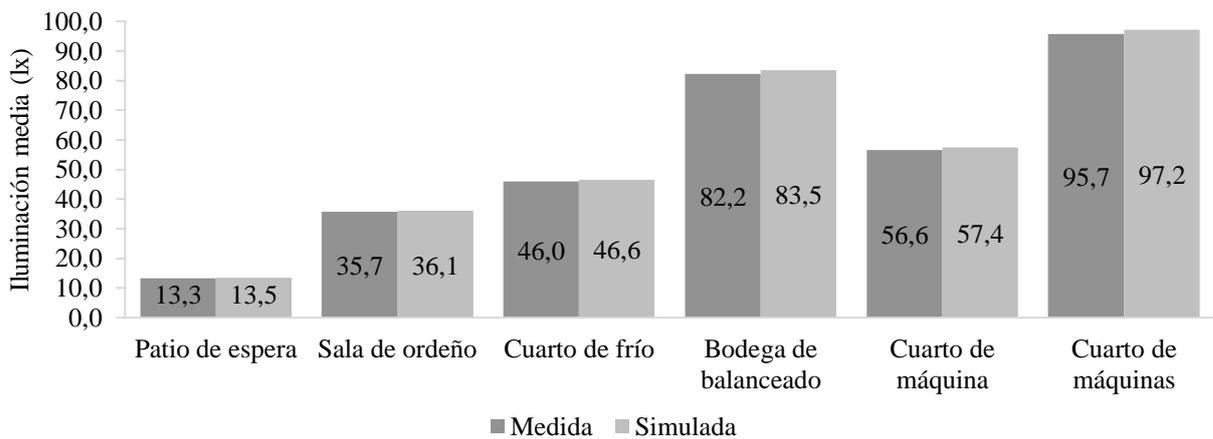


Fig. 47. Comparativa de la iluminación promedio in situ y simulada.

Fuente: Autores.

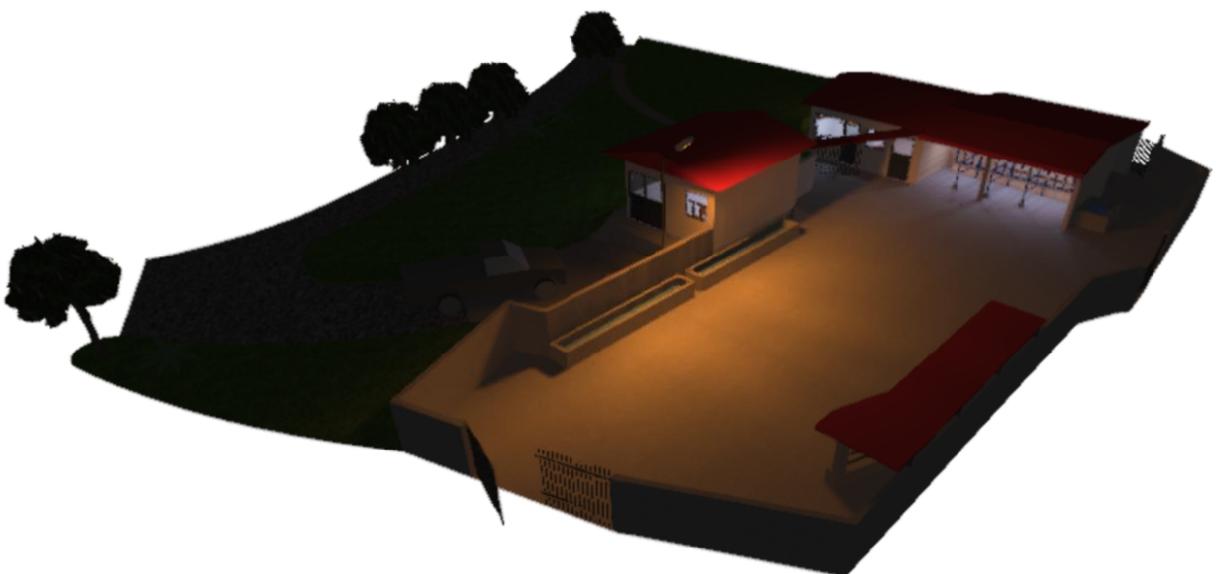


Fig. 48. Sistema de iluminación actual de la finca “La Cordillera”.

Fuente: Autores.

2.4.5. Simulación del sistema eléctrico actual

Con los datos obtenidos de la auditoría energética (anexo 1) y diseño del plano eléctrico (véase anexo 5) se realizó el diagrama unifilar de la finca “La Cordillera” en el software ETAP, donde el análisis de calidad de energía permitió reflejar el comportamiento de la demanda energética durante el flujo de carga, para simular el sistema actual.

En la siguiente figura se muestra el diagrama unifilar general de la industria láctea “La Cordillera” (ver anexo 6) elaborado mediante el levantamiento de información, cuyo sistema cuenta con un transformador monofásico trifilar y cargas inductivas que no disponen de compensación reactiva.

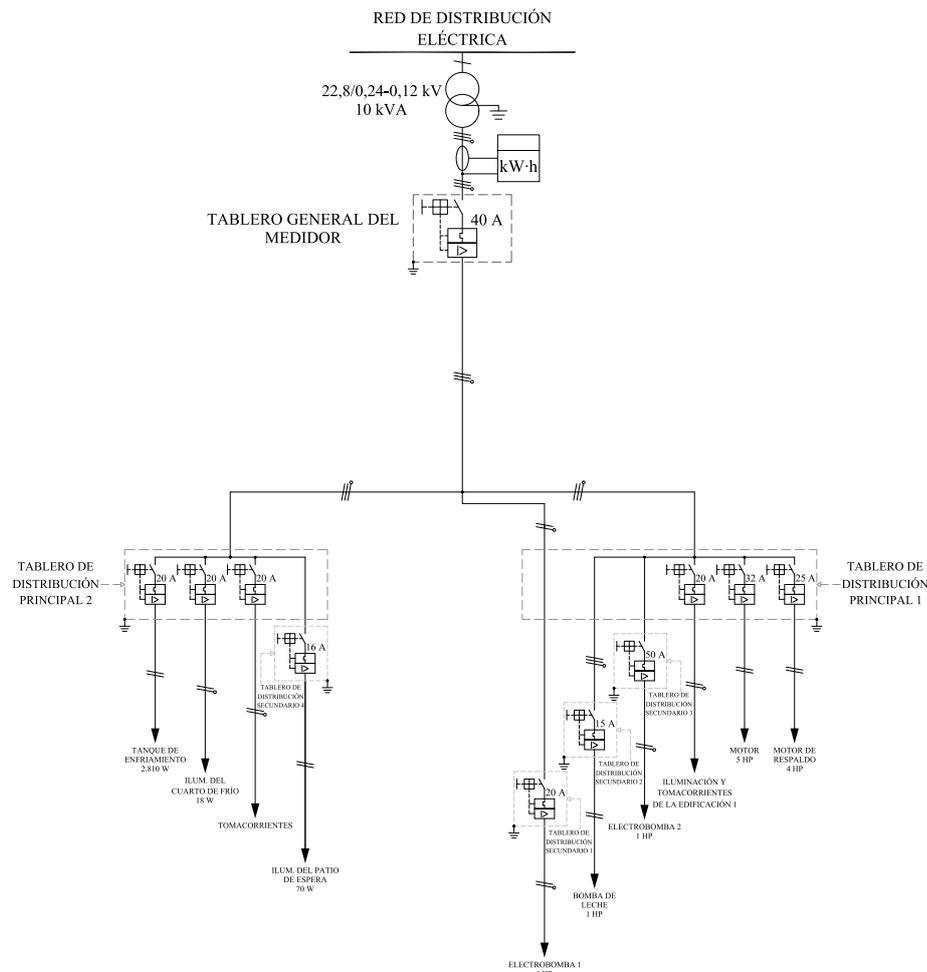


Fig. 49. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera”.

Fuente: Autores.

Flujo de carga máxima

La tabla 34 y figura 50 visualizan los resultados del flujo de carga máxima, que tiene relación con los valores del día viernes a las 6:00 obtenidos en el tablero general del medidor (PCC).

Tabla 34. Valores del flujo de carga a demanda máxima.

Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Aparente (kVA)	Factor de potencia (%)	Corriente (A)
7,13	5,59	9,05	78,70	37,70

Fuente: Autores.

Referente a la caída de voltaje existente hasta la electrobomba 2 es del 7,55%, valor que está por encima del límite del 5%, por otra parte, iluminación excede el 3% [114], [115].

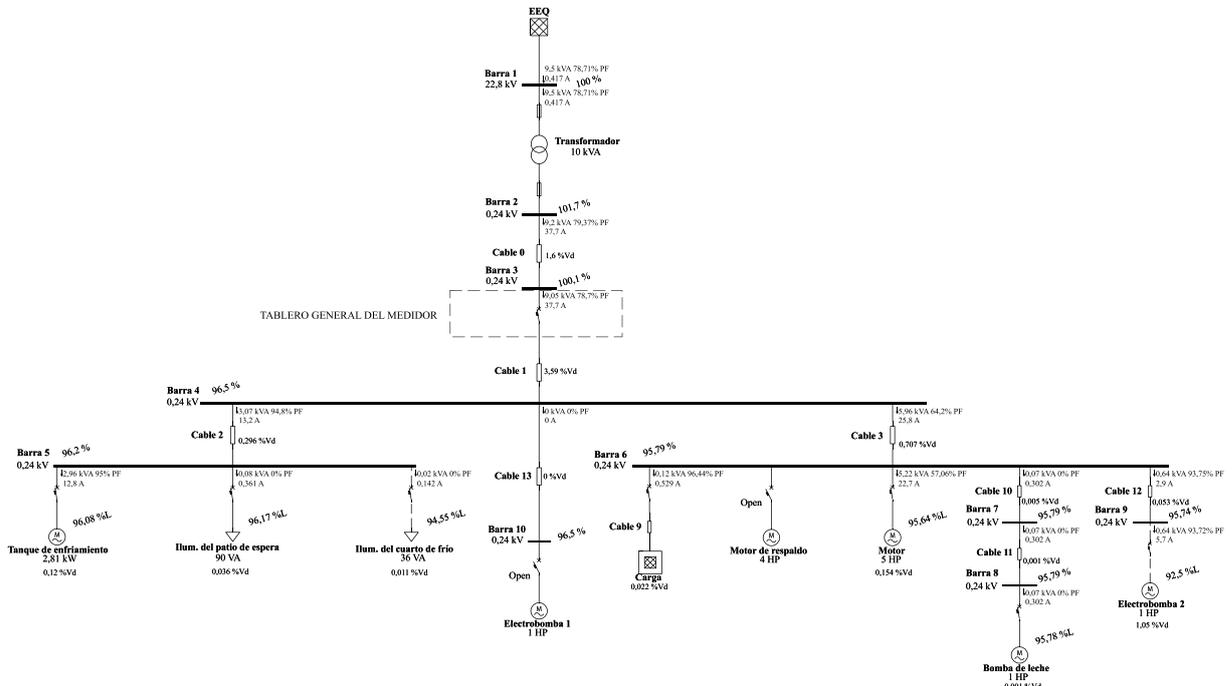


Fig. 50. Flujo de carga del sistema eléctrico actual a demanda máxima.

Fuente: Autores.

2.5. Conclusiones

- El sistema eléctrico actual tiene cables sin cargas conectadas y empalmes inadecuados que carecen de cinta aislante, lo que puede ocasionar cortocircuitos al hacer contacto con las estructuras metálicas.
- Las mediciones de la iluminación actual de cada área de trabajo indicaron el incumplimiento de los límites establecidos según normativa, donde, el valor mínimo de iluminancia corresponde al patio de espera con 13,3 lx, y el más representativo de 95,7 lx pertenece al cuarto de máquinas.
- La carga actual de la finca representa el 90,50% de la potencia nominal del transformador debido a caídas de voltaje, bajo factor de potencia y pérdidas eléctricas, englobadas en un uso ineficiente de la energía.

CAPÍTULO III. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

El análisis llevado a cabo durante esta sección se enfoca en desarrollar un sistema eléctrico y lumínico orientados a la utilización racional de la energía que contribuye al cuidado del medio ambiente.

3.1. Análisis de los resultados

Con la finalidad de mejorar los indicadores de desempeño energético y financiero, se efectúa el diseño del sistema de iluminación LED basado en sensores de presencia, corrección del factor de potencia al igual que el replanteo del contrato de suministro eléctrico, los cuales fueron evaluados técnica-económicamente.

3.1.1. Sistema de iluminación LED con control de presencia

Lista de luminarias

Se empleó un total de 15 luminarias LED para el diseño del sistema de iluminación (véase anexo 7), con una eficiencia luminosa desde 118 lm/W hasta 141,5 lm/W, temperatura de color (CCT) de 4.000 K e índice de reproducción cromática (CRI) de 70 a 84.

Tabla 35. Luminarias empleadas en el sistema de iluminación LED.

Área	Cantidad	Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficiencia luminosa (lm/W)	CCT (K)	CRI
Estacionamiento	1	72	10.187	141,50	4.000	70
Cuarto de frío	2	8	1.052	131,50	4.000	84
Patio de espera	2	72	10.187	141,50	4.000	70
Sala de ordeño	3	10	1.251	125,10	4.000	80
Cuarto de Máquina	2	18	2.500	138,90	4.000	84
Cuarto de Máquinas	1	10	1.251	125,10	4.000	80
Bodega de balanceado	1	10	1.251	125,10	4.000	80
Bodega de alimentos	2	13,5	1.593	118,00	4.000	82
	1	10	1.251	125,10	4.000	80

Fuente: Autores.

Criterios primordiales de la calidad lumínica

La iluminación promedio conforme la tabla 36 y figura 51 cumple los límites establecidos producto del adecuado diseño del ambiente visual, así, se garantiza la seguridad laboral, como el confort visual. En tal sentido las actividades laborales son llevadas a cabo de manera eficaz. El anexo 8 muestra los colores falsos e isolíneas de las diferentes áreas de la finca “La Cordillera” resultantes de la simulación.

Tabla 36. Iluminación promedio.

Área	Iluminación promedio (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumplimiento
Estacionamiento	33,6	30	✓
Patio de espera	21,4	20	✓
Sala de ordeño	61,3	50	✓
Cuarto de frío	62,5	50	✓
Bodega de balanceado	156,0	150	✓
Cuarto de máquina	171,0	150	✓
Cuarto de máquinas	105,0	100	✓
Bodega de alimentos	162,0	150	✓

Fuente: Autores.

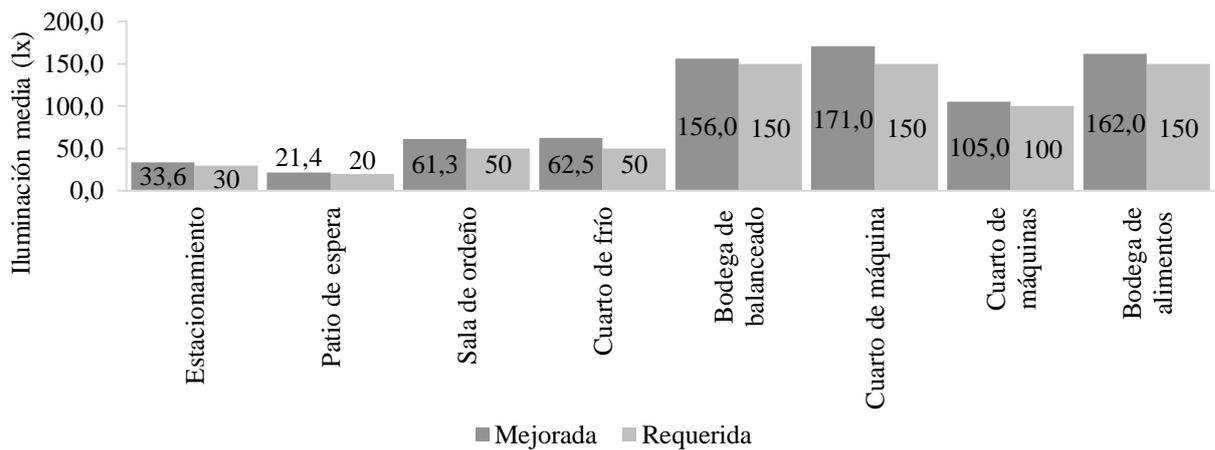


Fig. 51. Niveles de iluminación del sistema LED.

Fuente: Autores.

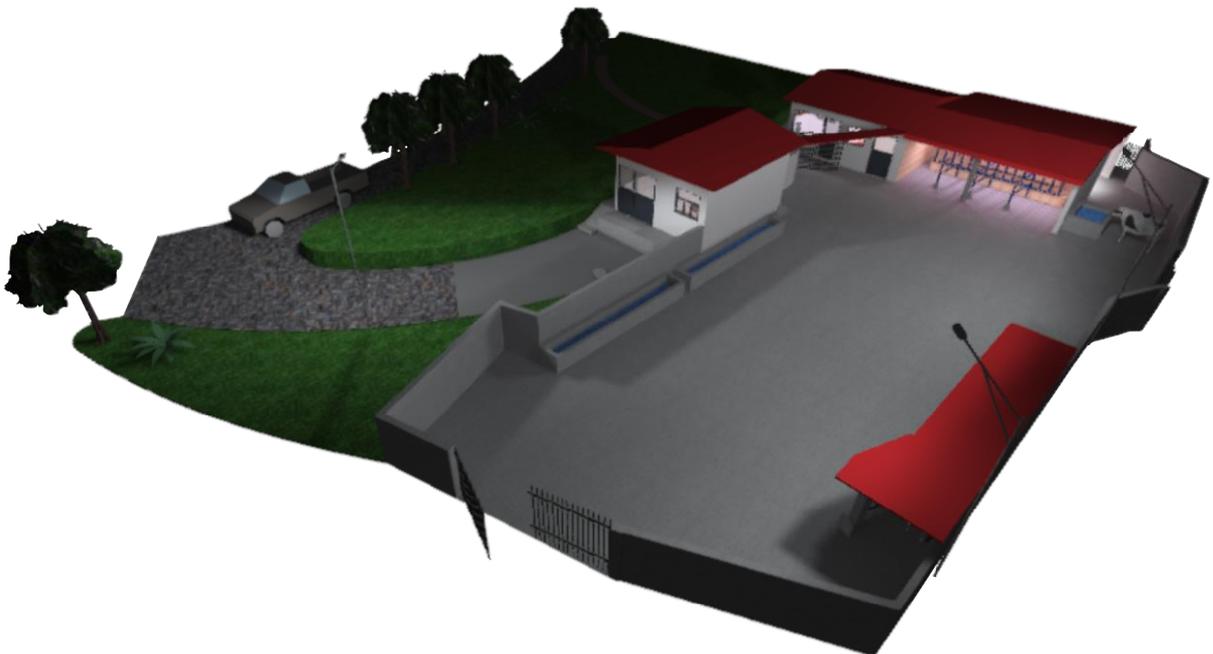


Fig. 52. Sistema de iluminación LED con control de presencia.

Fuente: Autores.

Para que el deslumbramiento exterior e interior sean considerados adecuados deben ser iguales o inferiores al criterio de aceptación establecido por área laboral, lo cual, se evidencia en la tabla 37 y figura 53.

Tabla 37. Límite de deslumbramiento.

Área	Límite de deslumbramiento	Criterio de aceptación	Cumplimiento	
Estacionamiento	GR	52,0	55	✓
Patio de espera		46,0	50	✓
Sala de ordeño		32,0	50	✓
Bodega de alimentos		39,0	50	✓
Cuarto de frío	UGR	21,3	25	✓
Bodega de balanceado		25,6	50	✓
Cuarto de máquina		24,1	25	✓
Cuarto de máquinas		27,0	50	✓

Fuente: Autores.

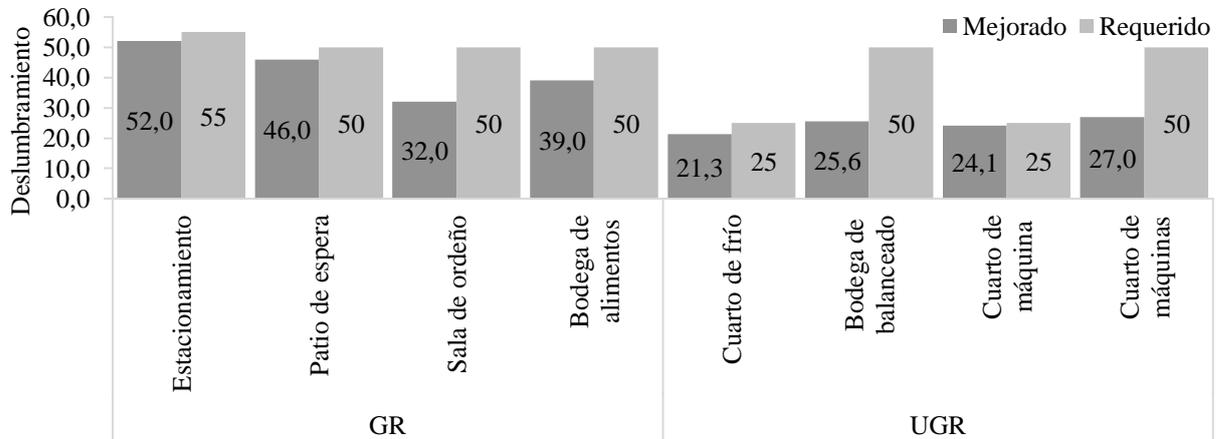


Fig. 53. Límite de deslumbramiento del sistema de iluminación LED.

Fuente: Autores.

La distribución de los niveles de iluminación por cada área de trabajo es uniformemente adecuada, al ser el índice de uniformidad indicado en la tabla 38 y figura 54 superior al criterio de aceptación.

Tabla 38. Índice de uniformidad.

Área	Índice de uniformidad	Criterio de aceptación	Cumplimiento
Estacionamiento	0,57	0,25	✓
Patio de espera	0,27	0,20	✓
Sala de ordeño	0,43	0,40	✓
Cuarto de frío	0,65	0,60	✓
Bodega de balanceado	0,55	0,40	✓
Cuarto de máquina	0,61	0,60	✓
Cuarto de máquinas	0,42	0,40	✓
Bodega de alimentos	0,44	0,40	✓

Fuente: Autores.

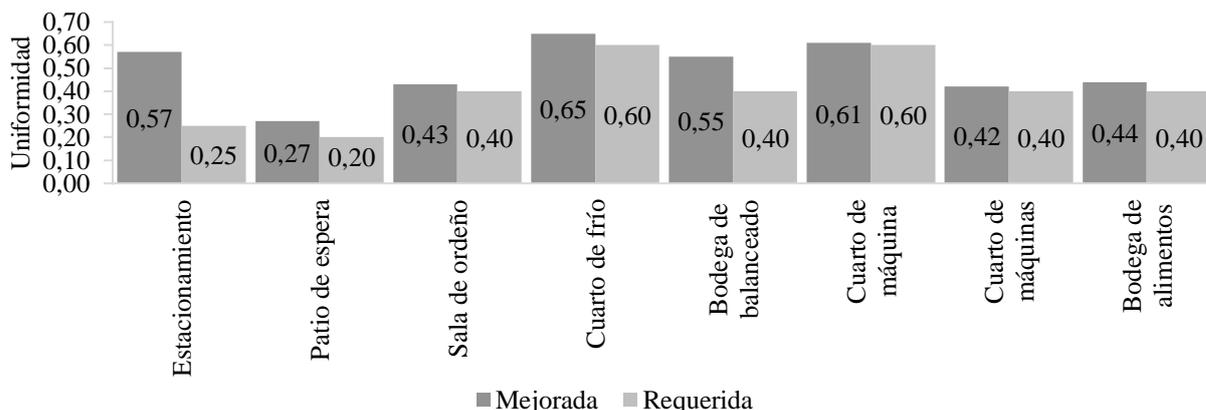


Fig. 54. Índice de uniformidad del sistema de iluminación LED.

Fuente: Autores.

Consumo energético

Sistema de iluminación actual

Actualmente, el consumo energético del sistema de iluminación de la industria láctea se sitúa en 340,27 kW·h al año, donde, el cuarto de máquinas con el 58,78% representa la participación mayoritaria por disponer de tecnología incandescente junto al amplio tiempo de utilización.

Tabla 39. Consumo de energía del sistema de iluminación actual.

Área	Régimen de funcionamiento		Energía anual consumida (kW·h/año)	Porcentaje relativo (%)
	Horas de uso al día	Horas de uso al año		
Cuarto de máquinas	5,00	1.825	200,00	58,78%
Patio de espera	2,75	1.004	70,00	20,57%
Sala de ordeño	3,00	1.095	30,00	8,82%
Cuarto de frío	3,00	1.095	20,00	5,88%
Cuarto de máquina	3,00	1.095	20,00	5,88%
Bodega de balanceado	0,08	30	0,27	0,08%
Total			340,27	100,00%

Fuente: Autores.

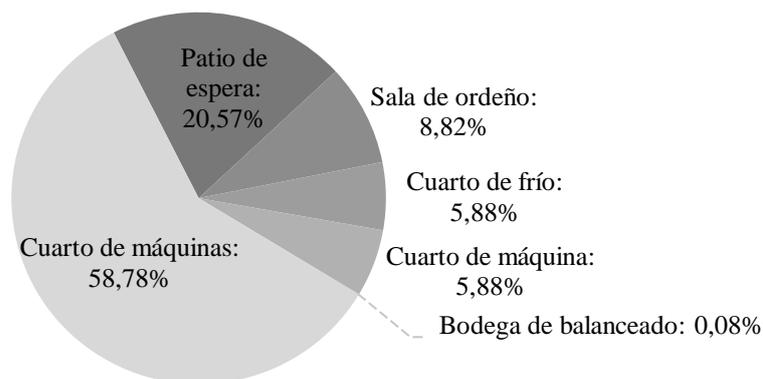


Fig. 55. Porcentaje relativo por área de trabajo en el sistema de iluminación actual.

Fuente: Autores.

Sistema de iluminación LED con control de presencia

El sistema de iluminación propuesto está basado en sensores de presencia modelo BMSA2102, BMSA2202, destinados para el estacionamiento e interiores como el área de máquinas, máquina, y cuarto de frío. La tabla 40 indica las características principales de cada equipo de control.

Tabla 40. Características principales de los sensores de presencia.

Parámetros	BMSA2102	BMSA2202
Aplicación	Exteriores de edificios	Interiores
Funcionamiento	ON/OFF con conexión y desconexión automático	ON/OFF con conexión manual y administración automática de la desconexión
Alimentación	100 - 240 Vac 50/60 Hz	
Tipo de sensor	PIR	PIR+US
Cobertura a 2,5 m	263 m ²	95 m ²
Altura máxima de instalación (m)	6	
Tiempo de retardo al apagar	0 segundos – 60 min	
Sensibilidad	PIR máximo	PIR máximo, US alto
Grado de protección	IP55	IP20

Fuente: Autores, [116].

La energía consumida por el sistema de iluminación propuesto corresponde a 215,67 kW·h/año, donde, el patio de espera con el 67,23% representa la participación mayoritaria al requerir de mayor capacidad instalada para cumplir los criterios primordiales de la calidad lumínica.

Tabla 41. Consumo de energía del sistema de iluminación LED.

Área	Régimen de funcionamiento		Energía anual consumida (kW·h/año)	Porcentaje relativo (%)
	Horas de uso al día	Horas de uso al año		
Patio de espera	2,75	1.004	145,00	67,23%
Sala de ordeño	3,00	1.095	33,00	15,30%
Cuarto de máquina	1,37	500	18,00	8,35%
Estacionamiento	0,42	153	11,00	5,10%
Cuarto de frío	0,68	250	4,00	1,85%
Cuarto de máquinas	1,10	400	4,00	1,85%
Bodega de alimentos	0,03	10	0,37	0,17%
Bodega de balanceado	0,08	30	0,30	0,14%
Total			215,67	100,00%

Fuente: Autores.

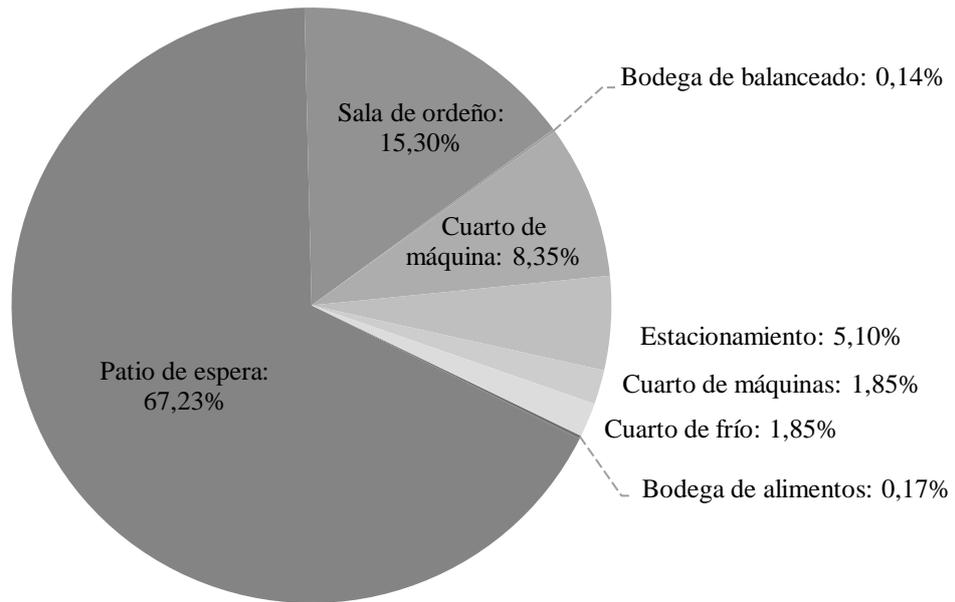


Fig. 56. Porcentaje relativo por área de trabajo en el sistema de iluminación propuesto.

Fuente: Autores.

Ahorro energético

Al considerar el consumo total del sistema de iluminación actual como propuesto de 340,27 kW·h/año y 215,67 kW·h/año respectivamente, se alcanza el siguiente ahorro de energía:

$$\text{Ahorro} = 340,27 \text{ kW}\cdot\text{h/año} - 215,67 \text{ kW}\cdot\text{h/año}$$

$$\text{Ahorro} = 124,60 \text{ kW}\cdot\text{h/año}$$

Es decir, la utilización de equipos de control basados en sensores de presencia junto a la tecnología LED permite alcanzar un ahorro energético al año del 36,62%.

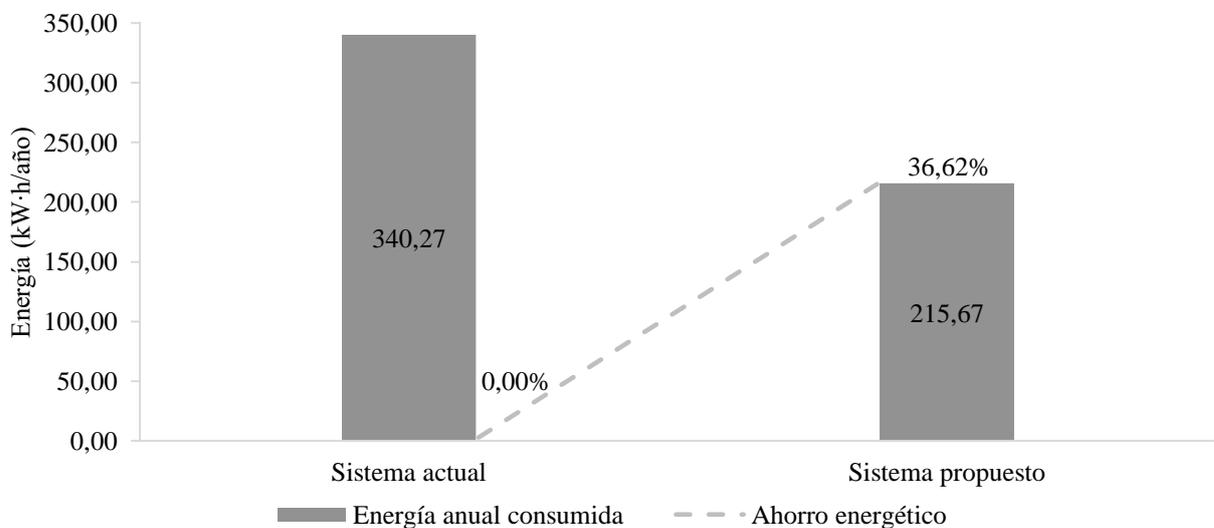


Fig. 57. Ahorro potencial de energía eléctrica.

Fuente: Autores.

Eficiencia energética

Pérdidas máximas de potencia aceptadas en el balasto reactor

Actualmente, el patio de espera emplea tecnología de vapor de sodio a alta presión de 70 W para su iluminación, por lo tanto, las pérdidas máximas aceptadas en el balasto reactor corresponden a 11 W y su potencia nominal total sería 81 W [117].

Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI)

El valor de eficiencia energética de la instalación se determina mediante la ecuación 4 de acuerdo a la potencia total instalada, superficie a iluminar e iluminación promedio. La tabla 42 presenta el resumen del VEEI para cada área de trabajo en condiciones actuales y tras la mejora.

Para fines de ejemplo, se calcula el VEEI del estacionamiento:

$$VEEI = \frac{(P)(100)}{(S)(E_m)}$$

$$VEEI = \frac{(72 \text{ W})(100)}{(61,21 \text{ m}^2)(33,6 \text{ lx})}$$

$$VEEI = 3,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$$

Tabla 42. VEEI del sistema de iluminación actual y propuesto.

Área	Superficie iluminada (m ²)	Sistema de iluminación actual			Sistema de iluminación propuesto		
		Potencia instalada (W)	Iluminación promedio (lx)	VEEI [W/(m ² ·lx)]	Potencia instalada (W)	Iluminación promedio (lx)	VEEI [W/(m ² ·lx)]
Estacionamiento	61,21	Área sin iluminar			72	33,60	3,50
Patio de espera	258,61	81	13,30	2,35	144	21,40	2,60
Sala de ordeño	30,22	27	35,70	2,50	30	61,30	1,62
Cuarto de frío	20,30	18	46,00	1,93	16	62,50	1,26
Bodega de balanceado	4,51	9	82,20	2,43	10	156,00	1,42
Cuarto de máquina	19,69	18	56,60	1,62	36	171,00	1,07
Cuarto de máquinas	6,68	110	95,70	17,21	10	105,00	1,43
Bodega de alimentos	21,86	Área sin iluminar			37	162,00	1,04

Fuente: Autores.

El sistema de iluminación LED con control de presencia presenta mejor eficiencia energética respecto al estado actual, excepto por el patio de espera donde el VEEI tras la mejora es superior, lo cual, sucede al requerir una mayor potencia instalada en lámparas.

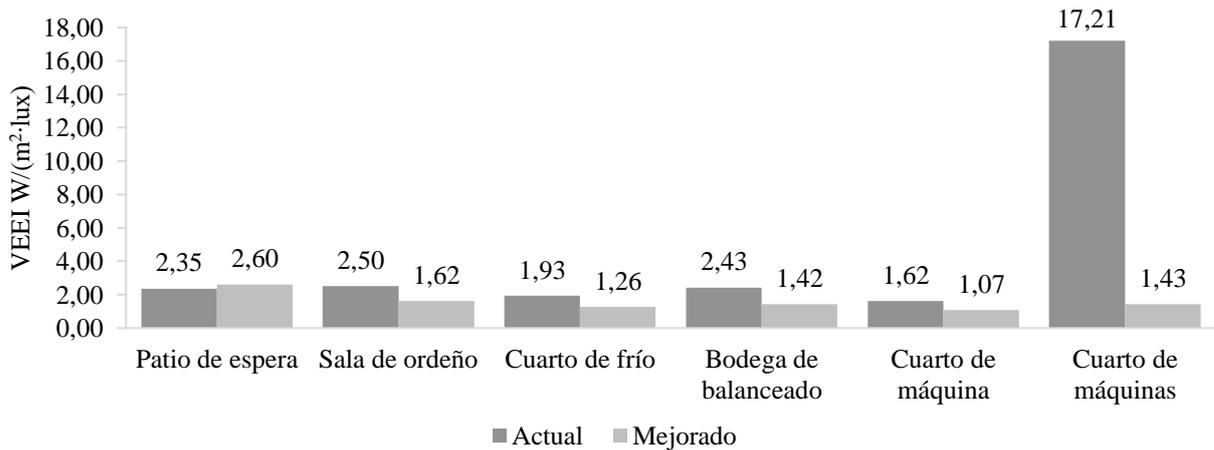


Fig. 58. Eficiencia energética del sistema de iluminación actual y propuesto.

Fuente: Autores.

De acuerdo a la tabla 43 y figura 59, el sistema de iluminación LED mediante sensores de presencia cumple los límites establecidos del VEEI, inclusive en espacios exteriores como el estacionamiento su valor es inferior al criterio de aceptación ($3,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{lx} < 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{lx}$).

Tabla 43. Valor de eficiencia energética de la instalación tras la mejora.

Área	VEEI [W/(m²·lx)]	Criterio de aceptación [W/(m²·lx)]	Cumplimiento
Estacionamiento	3,50	5,00	✓
Patio de espera	2,60	4,50	✓
Sala de ordeño	1,62	4,50	✓
Cuarto de frío	1,26	4,50	✓
Bodega de balanceado	1,42	6,00	✓
Cuarto de máquina	1,07	5,00	✓
Cuarto de máquinas	1,43	5,00	✓
Bodega de alimentos	1,04	6,00	✓

Fuente: Autores.

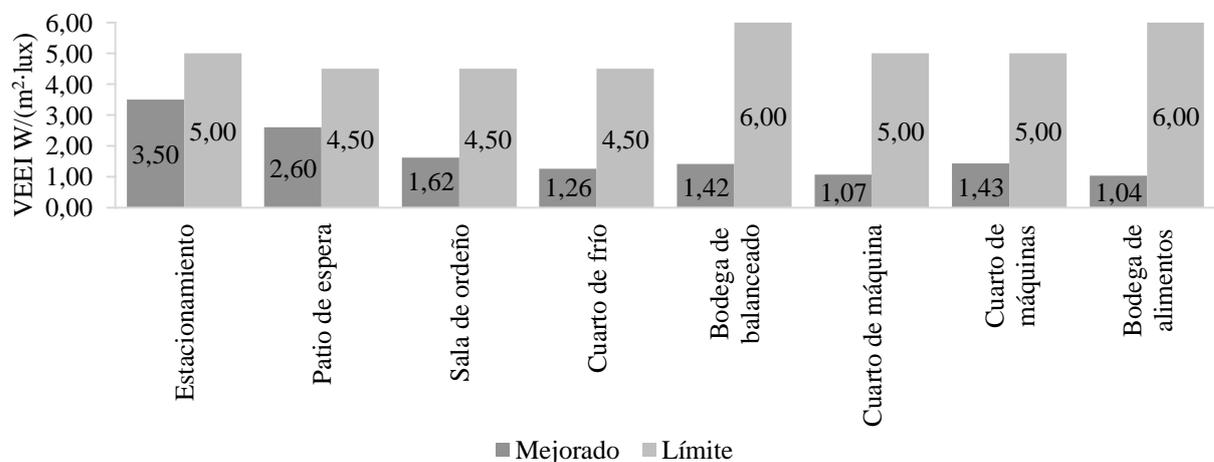


Fig. 59. Cumplimiento de los límites establecidos del VEEI.

Fuente: Autores.

Iluminación del patio de espera mediante lámparas de vapor de sodio a alta presión

Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI)

Conforme los resultados dados por DIALux evo, al emplear tecnología SON en la iluminación del patio de espera de 258,61 m² es necesario 4 lámparas de 70 W para cumplir los criterios primordiales de la calidad lumínica, consecuentemente, la iluminancia media corresponde a 32,5 lx, uniformidad de 0,21 y deslumbramiento de 28. Bajo estas premisas se procede a determinar el indicador VEEI.

$$VEEI = \frac{(P)(100)}{(S)(E_m)} = \frac{[(4)(70 \text{ W}) + (4)(11 \text{ W})](100)}{(258,61 \text{ m}^2)(32,5 \text{ lx})} = 3,85 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{lx}}$$

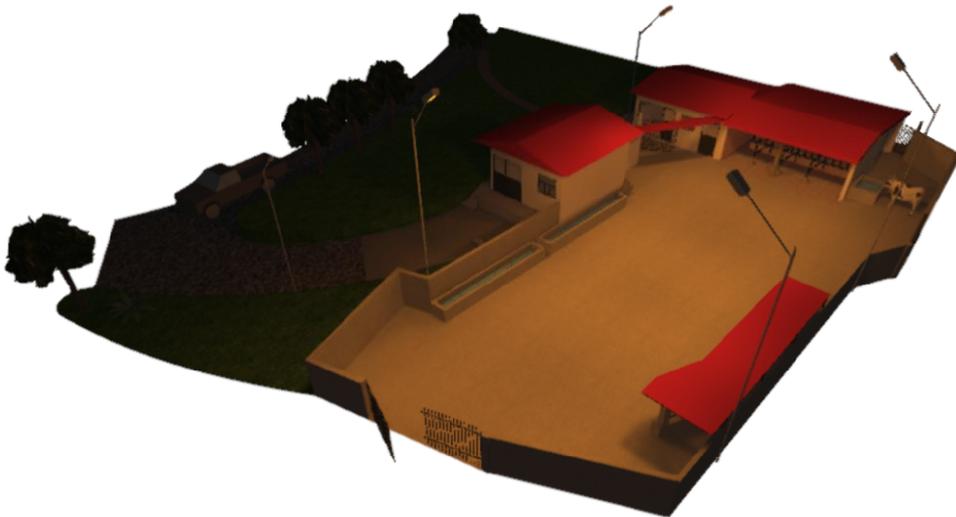


Fig. 60. Iluminación del patio de espera con lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Fuente: Autores.



Fig. 61. Iluminación del patio de espera mediante lámparas LED.

Fuente: Autores.

En la figura 62 se visualiza una mejor eficiencia de la tecnología LED sobre las lámparas de vapor de sodio a alta presión, es decir, el indicador VEEI es inferior al obtenido mediante la aplicación de las luminarias SON.



Fig. 62. Eficiencia energética de la iluminación LED y SON en el patio de espera.

Fuente: Autores.

3.1.2. Cálculo del cableado para iluminación

Según la NEC, se usa como mínimo conductores de cobre No. 14 AWG THHN para circuitos de iluminación, por tanto, con la expresión 12 es determinada las caídas de voltaje en las diferentes áreas a iluminar [15].

$$\Delta V_{\%} = \frac{(200)(l)(P_d)}{(S)(V_n^2)(\gamma_{\theta})} \quad (12)$$

Donde:

$\Delta V_{\%}$: caída de voltaje máxima permitido (%) [60], [83].

l : longitud de la línea (m) [60], [83].

P_d : potencia nominal al 125% (A) [60], [83].

S : sección del conductor (mm^2) [60], [83].

V_n : voltaje nominal de la línea (V) [60], [83].

γ_{θ} : conductividad del conductor a la temperatura de servicio θ prevista ($\text{s}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$) [60], [83].

La conductividad del conductor es de $45 \text{ s}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$ para una temperatura de servicio a $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [60], [83]. Además, el circuito de iluminación interior de la edificación 1 está conformada por el cuarto de máquina, máquinas, sala de ordeño, bodega de balanceado y alimentos.

Tabla 44. Caída de voltaje en la iluminación del estacionamiento.

Tramo		Potencia		Carga	Suministro	Caída de voltaje (%)	
Designación	Longitud (m)	Nominal instalada (W)	$1,25 \cdot P_n$ (W)	Potencia total (W)	Voltaje nominal (V)	Parcial	Total
Estac.	29,66	72,00	90,00	90,00	240,00	0,099	0,099

Fuente: Autores.

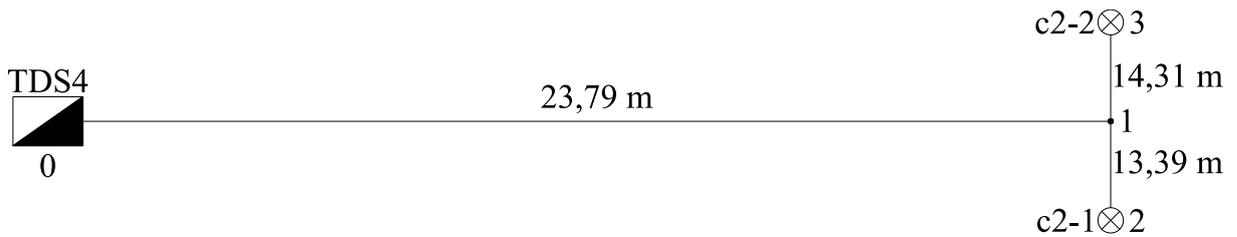


Fig. 63. Esquema de los tramos del patio de espera.

Fuente: Autores.

Tabla 45. Caída de voltaje en la iluminación del patio de espera.

Tramo		Potencia		Carga	Suministro	Caída de voltaje (%)	
Designación	Longitud (m)	Nominal instalada (W)	$1,25 \cdot P_n$ (W)	Potencia total (W)	Voltaje nominal (V)	Parcial	Total
0 – 1	23,79	–	–	180,00	240,00	0,1589	0,1589
1 – 2	13,39	72,00	90,00	90,00	240,00	0,0447	0,2036
1 – 3	14,31	72,00	90,00	90,00	240,00	0,0478	0,2067

Fuente: Autores.

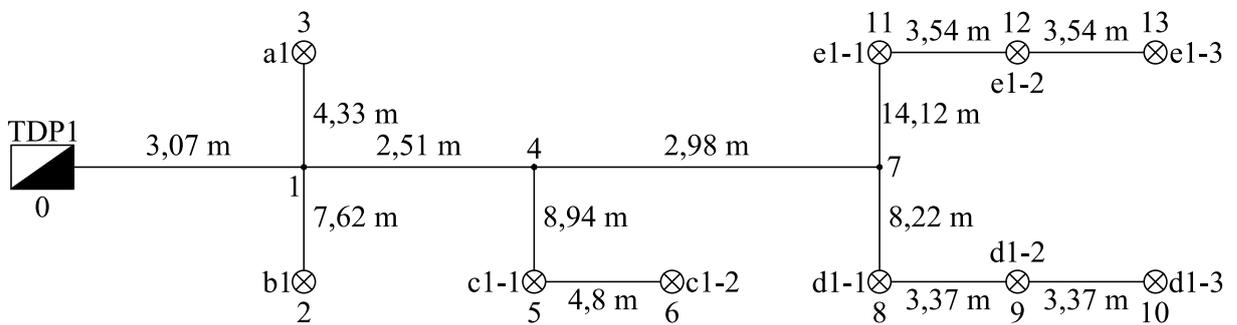


Fig. 64. Esquema de los tramos de la iluminación interior pertenecientes a la edificación 1.

Fuente: Autores.

Tabla 46. Caída de voltaje en el circuito de iluminación interior de la edificación 1.

Tramo		Potencia		Carga	Suministro	Caída de voltaje (%)	
Designación	Longitud (m)	Nominal instalada (W)	$1,25 \cdot P_n$ (W)	Potencia total (W)	Voltaje nominal (V)	Parcial	Total
0 – 1	3,07	–	–	153,76	240,00	0,0175	0,0175
1 – 2	7,62	10,00	12,50	12,50	240,00	0,0035	0,0210
1 – 3	4,33	10,00	12,50	12,50	240,00	0,0020	0,0195
1 – 4	2,51	–	–	128,76	240,00	0,0120	0,0295
4 – 5	8,94	18,00	22,50	45,00	240,00	0,0149	0,0444
5 – 6	4,8	18,00	22,50	22,50	240,00	0,0040	0,0484
4 – 7	2,98	–	–	83,76	240,00	0,0093	0,0388
7 – 8	8,22	10,00	12,50	37,50	240,00	0,0114	0,0502
8 – 9	3,37	10,00	12,50	25,00	240,00	0,0031	0,0533
9 – 10	3,37	10,00	12,50	12,50	240,00	0,0016	0,0549
7 – 11	14,12	13,50	16,88	46,26	240,00	0,0242	0,0630
11 – 12	3,54	10,00	12,50	29,38	240,00	0,0039	0,0669
12 – 13	3,54	13,50	16,88	16,88	240,00	0,0022	0,0691

Fuente: Autores.

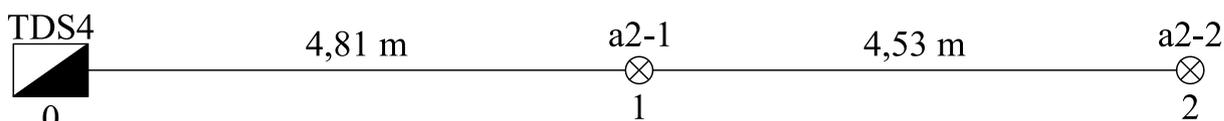


Fig. 65. Esquema de los tramos de la iluminación del cuarto de frío.

Fuente: Autores.

Tabla 47. Caída de voltaje en la iluminación del cuarto frío.

Tramo		Potencia		Carga	Suministro	Caída de voltaje (%)	
Designación	Longitud (m)	Nominal instalada (W)	$1,25 \cdot P_n$ (W)	Potencia total (W)	Voltaje nominal (V)	Parcial	Total
0 – 1	4,81	8,00	10,00	20,00	240,00	0,0036	0,0036
1 – 2	4,53	8,00	10,00	10,00	240,00	0,0017	0,0053

Fuente: Autores.

Los resultados de las tablas 45 – 47 muestran que la caída de voltaje máxima al utilizar un cable comercial de sección de $2,08 \text{ mm}^2$ (anexo 9) en la iluminación exterior e interior se encuentra por debajo del límite del 3%. Posteriormente, es necesario calcular las corrientes para verificar si la capacidad del conductor abastece la demanda.

Tabla 48. Corriente de la iluminación del estacionamiento, patio de espera y cuarto de frío.

Área	Cantidad	Potencia de la luminaria (W)	Potencia total (W)	FP	Voltaje de línea (V)	Corriente (A)	$1,25 \cdot I_n$ (A)
Estacionamiento	1	72	72	0,99	240	0,303	0,379
Patio de espera	2	72	144	0,99	240	0,606	0,758
Cuarto de frío	2	8	16	0,96	240	0,069	0,086

Fuente: Autores.

Tabla 49. Corriente total del circuito de iluminación interior de la edificación 1.

Área	Cantidad	Potencia de la luminaria (W)	Potencia total (W)	FP	Voltaje de línea (V)	Corriente (A)	$1,25 \cdot I_n$ (A)
Cuarto de Máquinas	1	10	10	0,90	240	0,046	0,058
Bodega de balanceado	1	10	10	0,90	240	0,046	0,058
Cuarto de Máquina	2	18	36	0,90	240	0,167	0,209
Sala de ordeño	3	10	30	0,90	240	0,139	0,174
Bodega de alimentos	2	13,5	27	0,95	240	0,118	0,148
	1	10	10	0,90	240	0,046	0,058
						Total	0,705

Fuente: Autores.

Según el anexo 9, la corriente máxima del conductor No. 14 AWG THHN es de 25 A, a la cual debe aplicarse un factor de ajuste del 80% (véase anexo 10) ya que la peor condición es tener 6

cables en una canalización, cuyo valor resultante de 20 A satisface las intensidades demandadas de las diferentes áreas.

Por otra parte, el cable de tierra (S_p) para las carcasas de las luminarias fue elegido mediante el anexo 11 [120].

$$S_p = S = 2,08 \text{ mm}^2 \text{ equivalente al No. 14 AWG}$$

Tubería anillada flexible reforzada (E.N.T.)

El conducto reforzado puede ser enterrado por su alta resistencia química y anticorrosivo, la cual se utilizará para los cables No. 14 AWG de 19 hilos THHN destinados a la iluminación exterior. A continuación, se visualiza el área total de los conductores situados en el ducto.

Tabla 50. Área total de los cables destinados para la iluminación exterior.

Calibre AWG THHN No.	No. de cables	Diámetro exterior por cable (mm ²)	Área del cable (mm ²)	Área total (mm ²)
14	1*	2,76	5,98	5,98
14	4	2,76	5,98	23,92
Total	5			29,90

*Conductor de protección a tierra para las carcasas de las luminarias.

Fuente: Autores.

De acuerdo al anexo 12, debe considerarse un factor de relleno del 40% a partir de 3 cables, de tal manera que se requiere una tubería metálica no eléctrica de ½" [115], [121].

Seguidamente, se comprueba si la manguera anillada flexible de ½" es suficiente para los cables de la iluminación interior que estarán conjuntamente con los conductores del circuito de tomacorrientes en el tramo 0 – 1 y 1 – 4 de la figura 64.

Tabla 51. Área total de los cables destinados para la iluminación interior y circuito de tomacorrientes.

Calibre AWG THHN No.	No. de cables	Diámetro exterior por cable (mm ²)	Área del cable (mm ²)	Área total (mm ²)
14	1*	2,76	5,98	5,98
14	2	2,76	5,98	11,96
10	1*	4,41	15,27	15,27
10	2	4,41	15,27	30,54
Total	6			63,75

*Conductor de protección a tierra.

Fuente: Autores.

Como el caso anterior se necesita considerar un factor de relleno del 40%, por tanto, la manguera anillada flexible de ½" es suficiente.

3.1.3. Determinación de interruptores termomagnéticos

La visita in situ permitió observar la existencia de interruptores termomagnéticos sobredimensionados en las electrobombas, ya que el elemento no solo se elige según el calibre del conductor, sino también por la instalación a proteger [60].

A continuación, se establece con la expresión 12 la corriente nominal de los interruptores termomagnéticos (I_{IT}), donde I_d es la intensidad nominal del equipo o aparato eléctrico al 125% e I_k la capacidad máxima admisible en el conductor [60].

$$I_d < I_{IT} \leq I_k \quad (13)$$

Mediante las corrientes nominales de la electrobomba 1 y 2 (véase anexo 1), se calcula la intensidad al 125%, lo cual resulta de 13,75 A, 12,50 A respectivamente.

Las protecciones del sistema de iluminación propuesto son determinadas con los datos de las tablas 48 y 49. Se considera un único interruptor termomagnético para el cuarto de frío, estacionamiento y patio de espera, el cual será ubicado en el tablero de distribución secundario 4.

Además, se determina el interruptor termomagnético del circuito de iluminación de la edificación 1, ya que durante la auditoría energética fue apreciado una protección general para las lámparas y tomacorrientes, así como un único conductor compartido No. 10 AWG THHN para el tramo 0 – 1 y 1 – 4 (figura 64) en el sistema eléctrico actual.

Tabla 52. Corrientes nominales de los interruptores termomagnéticos.

Ubicación	Calibre (AWG)	Corriente de diseño (A)	Corriente nominal del interruptor (A)	Capacidad máxima admisible en el conductor (A)
Cuarto de frío, Patio de espera y Estacionamiento	14	1,223	2	20
Edificación 1	14	0,705	2	20
Electrobomba 1	4	13,75	15	85
Electrobomba 2	10	12,50	15	37

Fuente: Autores.

3.1.4. Corrección del factor de potencia

El análisis de calidad de energía permitió conocer que la industria láctea tiene un bajo factor de potencia por las cargas inductivas, esto ocasiona un uso energético ineficiente. Para el

dimensionamiento del banco de capacitores se considera el comportamiento de la demanda promedio semanal a igual del FP en horas de funcionamiento.

Por medio de la expresión 14 se determina la compensación reactiva (Q_C) de acuerdo a la potencia activa y el factor multiplicador (F). El anexo 13 visualiza los diferentes valores de F , que son dependientes tanto del FP inicial como deseado. La presente investigación considera un FP objetivo de 0,95 para el cálculo.

$$Q_C = (P)[\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)] = (P)(F) \quad (14)$$

Tabla 53. Valores de la potencia reactiva necesaria.

Hora	Potencia Activa (kW)	Factor de potencia (%)	Factor multiplicador	Q_C (kVAr)
4:00 – 6:00	5,77	73,00	0,608	3,51
14:00 – 16:00	5,09	68,00	0,750	3,82

Fuente: Autores.

A continuación, se determina la compensación individual fija para las electrobombas, la cual funcionará durante la operación particular de cada equipo eléctrico. Conforme a lo mencionado es necesario considerar los valores de placa del anexo 1.

Tabla 54. Valores de la potencia reactiva necesaria para compensación individual.

Máquina eléctrica	Potencia Activa (kW)	Factor de potencia (%)	Factor multiplicador	Q_C (kVAr)
Electrobomba 1	1,10	91,00	0,127	0,14
Electrobomba 2	1,02	93,00	0,067	0,07

Fuente: Autores.

Debido a que la finca contiene un motor de respaldo de 4 HP se determina su compensación reactiva, la cual define un paso para el banco de capacitores automático.

Tabla 55. Potencia reactiva necesaria para el motor de respaldo.

Máquina eléctrica	Potencia Activa (kW)	Factor de potencia (%)	Factor multiplicador	Q_C (kVAr)
Motor de respaldo	3,59	86,00%	0,265	0,95

Fuente: Autores.

Mediante la ecuación 15 se calcula la capacidad de los condensadores permanentes para la electrobomba 1 y 2, donde existe un voltaje de alimentación (V_a) promedio de 119 V, 115 V respectivamente. Ésta compensación conectada debajo del control de potencia solo actúa si opera la distinta máquina eléctrica, lo cual evita la inyección de reactivos a la red.

$$C = \frac{Q_c}{(2)(\pi)(f)(V_a^2)} \quad (15)$$

Tabla 56. Capacidad de los condensadores fijos para compensación individual.

Máquina eléctrica	V _a (V)	Q _c (kVAr)	C (μF)	Q _c comercial (kVAr)	Precio (\$)
Electrobomba 1	119	0,14	26	0,14	5,50
Electrobomba 2	115	0,07	14	0,08	5,00

Fuente: Autores.

Se considera valores comerciales lo más cercanos a los requeridos para los distintos tipos de compensación, como la fija accionada por contactor y automática. El presente estudio no analiza la corrección del factor de potencia semiautomática, debido a la variación del funcionamiento de los equipos en épocas de baja producción lechera como el mes de julio (véase anexo 1).

Tabla 57. Cotización de corrección fija accionada por contactor.

Descripción	1,32 kVAr	3,3 kVAr	4 kVAr
Subtotal (\$)	74,07	92,89	100,46
Instalación (\$)	30,00	30,00	30,00
I.V.A 12% (\$)	12,49	14,75	15,66
Total (\$)	116,56	137,64	146,12
Costo por kVAr instalado	88,30	41,71	36,53

Fuente: Autores.

Tabla 58. Cotización del banco de capacitores automático.

Descripción	3,96 kVAr (1,32 + 1,32 + 1,32 kVAr)	3,96 kVAr (1,32 + 2,64 kVAr)
Subtotal (\$)	787,25	755,21
Instalación (\$)	90,00	90,00
I.V.A 12% (\$)	105,27	101,43
Total (\$)	982,52	946,64
Costo por kVAr instalado	248,11	239,05

Fuente: Autores.

Conforme los precios vistos en las tablas anteriores, se elige la compensación fija accionada por contactor para satisfacer las necesidades de la industria, donde la capacidad de 1,32 kVAr operará conjuntamente con el motor de respaldo de 4 HP, y los 4 kVAr actuarán durante el funcionamiento de la máquina eléctrica de 5 HP (véase figura 66). Además, es considerado los condensadores permanentes de las electrobombas, lo que da una inversión inicial total de \$273,18.

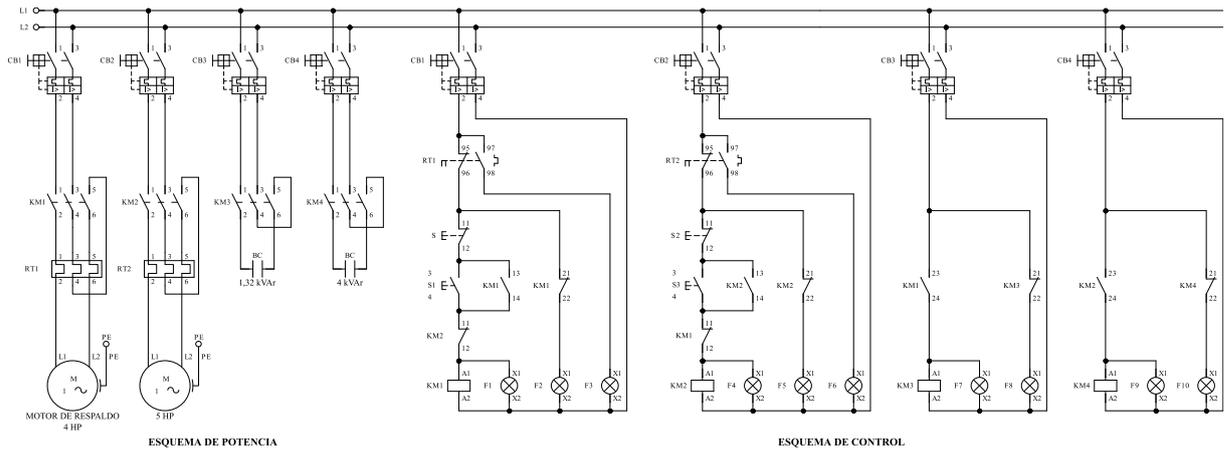


Fig. 66. Esquema de control y potencia de la compensación reactiva.

Fuente: Autores.

El diagrama unifilar general con las propuestas de mejora se visualiza en la siguiente figura, donde la compensación reactiva y nuevo sistema de iluminación es apreciado (véase anexo 14).

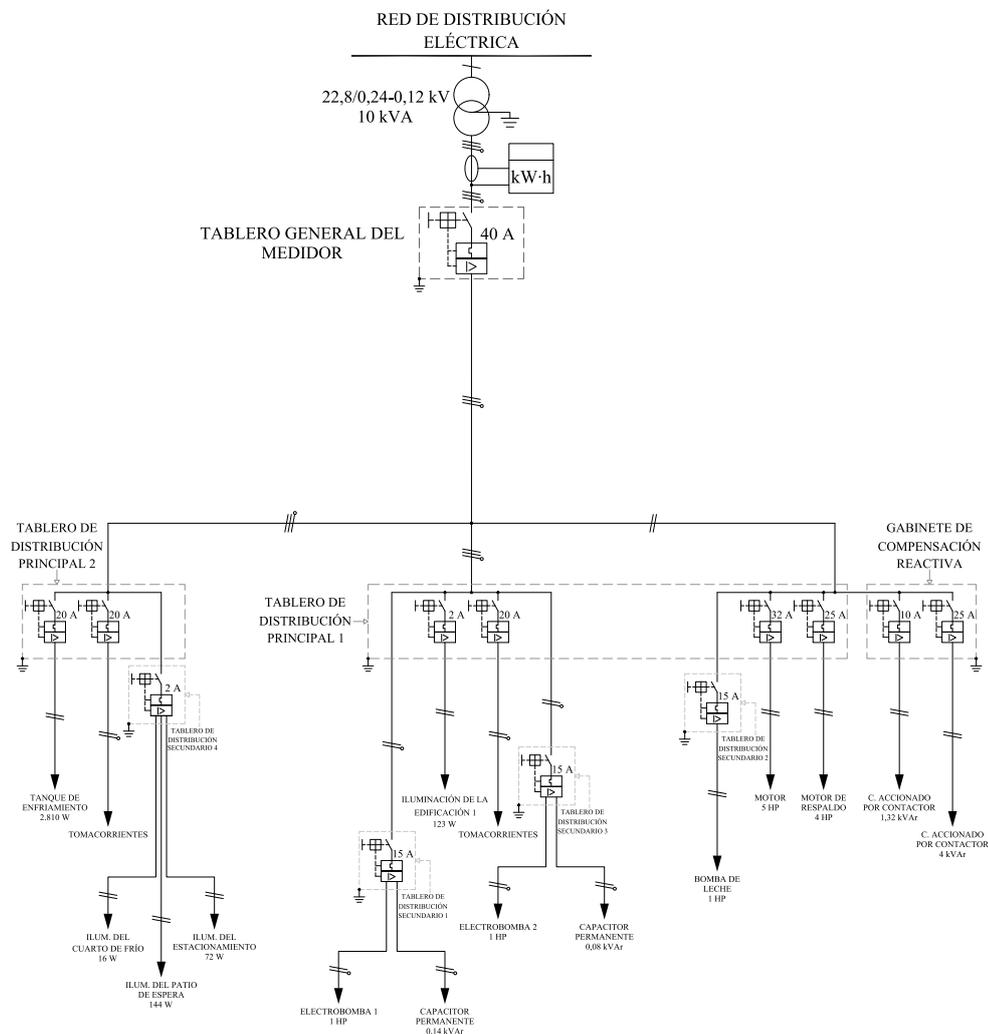


Fig. 67. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera” con propuestas de mejora.

Fuente: Autores.

2.5.1. Simulación del sistema eléctrico con propuestas de mejora

Flujo a carga máxima

La tabla 59 al igual que la figura 68 visualizan los resultados del flujo de carga máxima con la compensación reactiva y nuevo sistema lumínico donde opera el capacitor fijo accionado por contactor de 4 kVAr.

Tabla 59. Valores del flujo de carga a demanda máxima con las propuestas.

Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Aparente (kVA)	Factor de potencia (%)	Corriente (A)
6,90	1,65	7,09	97,27	29,10

Fuente: Autores.

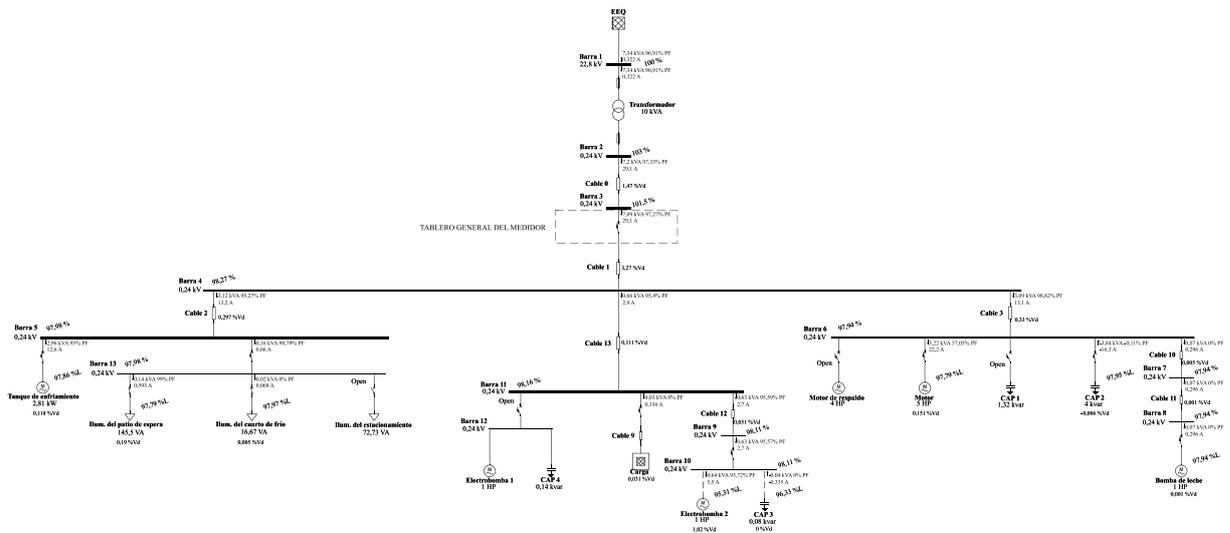


Fig. 68. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda máxima.

Fuente: Autores.

De acuerdo a los resultados, el factor de potencia es del 97,27% lo cual demuestra la inexistencia de inyección reactiva a la red. Además, la caída de voltaje existente hasta la electrobomba 2 del 4,69% está por debajo del límite del 5%, y la iluminación no excede el 3%.

El uso ineficiente de la energía originó una cargabilidad del 90,50% en el transformador, donde existió 7,13 kW y 5,58 kVAr el día viernes a las 6:00. A través de las mejoras, la potencia aparente es de 7,09 kVA lo que representa una disminución del 21,66%.

Flujo a carga máxima con motor de 4 HP

En caso de funcionar el motor de respaldo, opera el capacitor fijo accionado por contactor de 1,32 kVAr, donde los resultados demuestran un factor de potencia del 97,04%, de manera que no existe energía reactiva inyectada a la red.

Tabla 60. Valores del flujo de carga a demanda máxima con motor de 4 HP.

Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Aparente (kVA)	Factor de potencia (%)	Corriente (A)
6,57	1,64	6,77	97,04	27,80

Fuente: Autores.

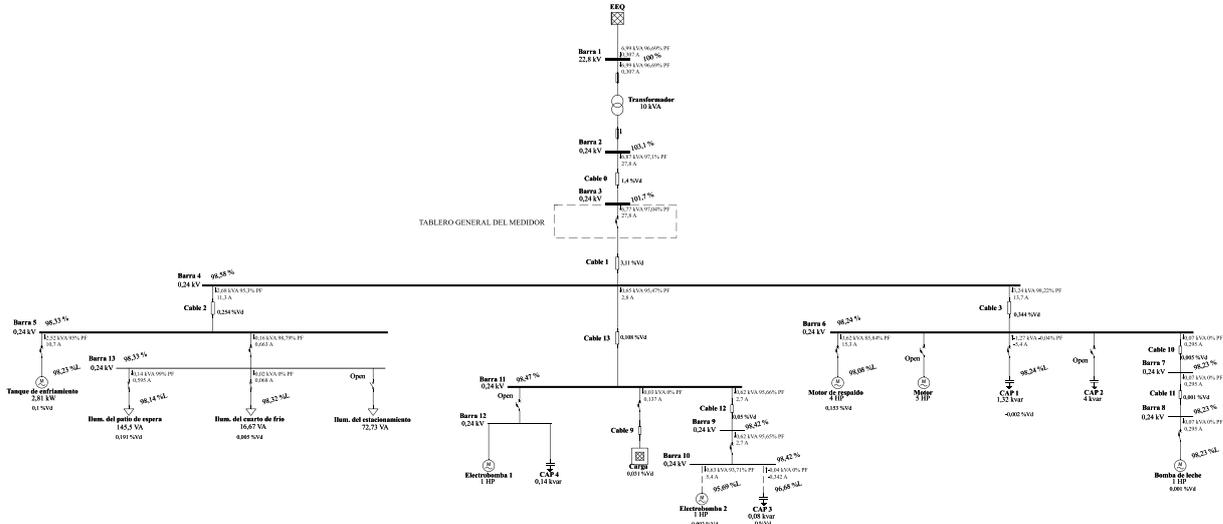


Fig. 69. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda máxima con motor auxiliar.

Fuente: Autores.

Flujo a carga media

El presente escenario se da de 4:00 a 5:00 en la cual funciona el capacitor fijo accionado por contactor de 4 kVAr conjuntamente con el motor de 5 HP, que de acuerdo a la figura 70 y tabla 61 alcanza un factor de potencia del 97,60%. A continuación, los resultados del flujo de carga media.

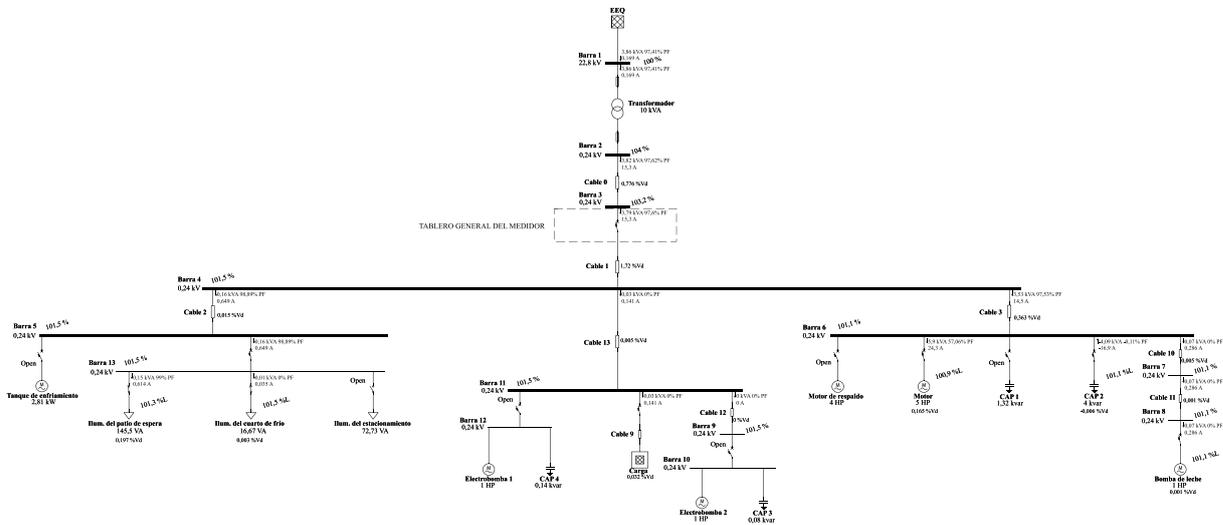


Fig. 70. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda media.

Fuente: Autores.

Tabla 61. Valores del flujo de carga a demanda media.

Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Aparente (kVA)	Factor de potencia (%)	Corriente (A)
3,70	0,83	3,79	97,60	15,30

Fuente: Autores.

Flujo a carga mínima

Esta condición de carga se suele presentar de 7:00 a 14:00 donde funciona la electrobomba 1 o 2, en el escenario opera la compensación fija respectiva (0,14 o 0,08 kVAr). A continuación, los resultados del flujo de carga mínima.

Tabla 62. Valores del flujo de carga a demanda mínima.

Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Aparente (kVA)	Factor de potencia (%)	Corriente (A)
1,17	0,36	1,23	95,47	4,90

Fuente: Autores.

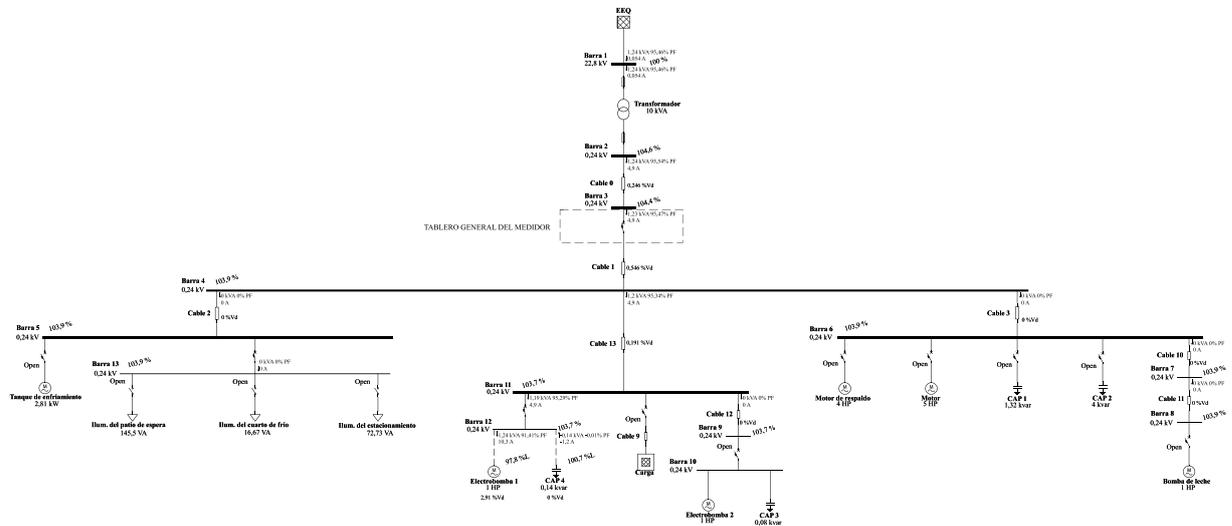


Fig. 71. Flujo de carga del sistema eléctrico propuesto a demanda mínima.

Fuente: Autores.

Los diferentes escenarios demuestran que la compensación reactiva contribuye a mejorar el factor de potencia, el cual oscila en el rango de 0,9547 – 0,976, valor superior al exigido por el ARCERNR (0,92).

3.1.5. Replanteo del contrato de suministro eléctrico

La finca actualmente está dentro de la categoría residencial de bajo voltaje, por lo cual, la propuesta considera un cambio de contrato a BV comercial sin demanda. En la siguiente tabla es visualizada la diferencia de las tarifas.

Tabla 63. Tarifas de suministro eléctrico de acuerdo a la categoría.

Tarifa actual				Tarifa esperada	
Rango de consumo	Cargo por consumo (USD/kW·h)	Rango de consumo	Cargo por consumo (USD/kW·h)	Rango de consumo	Cargo por consumo (USD/kW·h)
1 – 50	0,078	351 – 500	0,1050	1 – 300	0,081
51 – 100	0,081	501 – 700	0,1285	Superior	0,104
101 – 150	0,083	701 – 1000	0,1450		
151 – 200	0,097	1001 – 1500	0,1709		
201 – 250	0,099	1501 – 2500	0,2752		
251 – 300	0,101	2501 – 3500	0,4360		
301 – 350	0,103	Superior	0,6812		

Fuente: Autores, [103].

El estudio permitió conocer la potencia máxima de la finca, de tal manera que la demanda declarada es de 7,59 kW, la cual resulta menor a 12 kW para ser abastecida por la empresa distribuida en el punto de entrega a bajo voltaje [103], [122].

Conforme la categorización del registro único de contribuyentes, el propietario de la finca tiene un régimen de microempresa cuya actividad económica es la producción de leche cruda de vacuno para su posterior venta, por tanto, de acuerdo al uso energético y a las características de la carga puede aplicarse a la tarifa de bajo voltaje comercial sin demanda, pues como requisito la potencia máxima debe ser inferior a 10 kW [103], [122].

Para cuantificar el ahorro monetario es considerado el consumo energético de agosto 2020 – julio 2021. La siguiente tabla muestra los montos respectivos de acuerdo a la tarifa eléctrica.

Tabla 64. Tarifas de suministro eléctrico de acuerdo a la categoría.

Año	Mes	Facturación actual		Facturación esperada		
		Consumo eléctrico (kW·h)	Monto (\$)	Monto por consumo de 1 – 300 kW·h (\$)	Monto por consumo superior (\$)	Monto total (\$)
2020	Agosto	772	91,12	24,30	49,09	69,18
	Septiembre	891	105,75	24,30	61,46	76,92
	Octubre	898	121,88	24,30	62,19	77,37
	Noviembre	915	124,79	24,30	63,96	78,48
	Diciembre	785	102,64	24,30	50,44	70,03
2021	Enero	842	94,20	24,30	56,37	73,73
	Febrero	814	90,14	24,30	53,46	71,91
	Marzo	883	100,15	24,30	60,63	76,40
	Abril	823	91,45	24,30	54,39	72,50
	Mayo	752	81,15	24,30	47,01	67,89
	Junio	835	93,19	24,30	55,64	73,28
	Julio	627	64,23	24,30	34,01	59,77
Costo total de la electricidad			1.160,69			940,25

Fuente: Autores.

La propuesta ahorrará anualmente \$220,44 al asumir el mismo comportamiento del consumo durante el período agosto 2020 – julio 2021, donde el cambio de tarifa tiene mejor potencial económico a mayor uso de la electricidad. Para la alternativa planteada no se requiere de una inversión inicial.

3.1.6. Disminución de pérdidas eléctricas

Pérdidas de potencia

Los resultados de la simulación en ETAP permitieron conocer las pérdidas eléctricas existentes del estado actual y con las propuestas de mejora. Las siguientes tablas muestran los respectivos valores.

Tabla 65. Pérdidas del sistema eléctrico actual.

Origen	Destino	Voltaje base (V)	% de voltaje en barra		Pérdidas iniciales (P_{in})	
			Origen	Destino	kW	kVAr
Barra 3	Barra 4	240	100,1	96,5	0,39	0,04
Barra 4	Barra 5	240	96,5	96,2	0,01	0,00
Barra 4	Barra 6	240	96,5	95,79	0,07	0,00
Total					0,47	0,04

Fuente: Autores.

Tabla 66. Pérdidas del sistema eléctrico con propuestas de mejora.

Origen	Destino	Voltaje base (V)	% de voltaje en barra		Pérdidas finales (P_{fn})	
			Origen	Destino	kW	kVAr
Barra 3	Barra 4	240	101,5	98,27	0,24	0,02
Barra 4	Barra 5	240	98,27	97,98	0,01	0,00
Barra 4	Barra 6	240	98,27	97,94	0,01	0,00
Total					0,26	0,02

Fuente: Autores.

A partir de los valores totales se procede a determinar las pérdidas de potencia reducidas (P_{Rd}) con la expresión 16.

$$P_{Rd} = P_{in} - P_{fn} \quad (16)$$

$$P_{Rd} = 0,47 \text{ kW} - 0,26 \text{ kW} = 0,21 \text{ kW}$$

Pérdidas de energía

Resulta necesario determinar las horas equivalentes de pérdidas (H.E.P.) por medio de la ecuación 17, pues la energía que se pierde es igual a la considerada durante la operación de las cargas en un tiempo específico [123].

$$H.E.P. = \frac{\sum_{i=1} (Demanda\ horaria_i)^2 (h)}{(Demanda\ máxima)^2} = \frac{\sum_{i=1} (D_i)^2 (h)}{(D_M)^2} \quad (17)$$

Tabla 67. Demanda media del día con mayor productividad láctea.

Hora	Demanda	Duración	(D _i) ² (h)	Hora	Demanda	Duración	(D _i) ² (h)
	kW	h	kW ² ·h		kW	h	kW ² ·h
1:00	0,07	1	0,0054	13:00	1,27	1	1,6002
2:00	0,07	1	0,0050	14:00	1,29	1	1,6577
3:00	0,11	1	0,0119	15:00	5,52	1	30,4704
4:00	0,29	1	0,0841	16:00	6,00	1	35,9400
5:00	5,33	1	28,3823	17:00	0,55	1	0,2970
6:00	7,13	1	50,8321	18:00	0,09	1	0,0074
7:00	1,91	1	3,6354	19:00	0,09	1	0,0075
8:00	1,28	1	1,6448	20:00	0,10	1	0,0092
9:00	1,23	1	1,5129	21:00	0,18	1	0,0333
10:00	1,21	1	1,4641	22:00	0,09	1	0,0074
11:00	1,21	1	1,4641	23:00	0,07	1	0,0044
12:00	1,22	1	1,4945	0:00	0,07	1	0,0044
$\sum_{i=1} (D_i)^2 (h)$							160,5756

Fuente: Autores.

$$H.E.P. = \frac{160,5756 \text{ kW}^2 \cdot \text{h/día}}{(7,13 \text{ kW})^2} = 3,16 \text{ h/día}$$

Las pérdidas de energía reducidas (E_p) son calculadas con la expresión 18:

$$E_p = (P_{Rd})(H.E.P.)(T) \quad (18)$$

$$E_p = (0,21 \text{ kW})(3,16 \text{ h/día})(365 \text{ días/año})$$

$$E_p = 242,214 \text{ kW} \cdot \text{h/año}$$

$$E_p = (242,214 \text{ kW} \cdot \text{h/año}) / (12 \text{ meses/año})$$

$$E_p = 20,1845 \text{ kW} \cdot \text{h/mes}$$

Mediante el pliego tarifario y ecuación 19, se calcula el ahorro económico debido a la disminución de las pérdidas energéticas. Al replantear el contrato de suministro eléctrico a comercial sin demanda, es considerado el valor de 0,104 USD/kW·h por reducir la energía eléctrica en el consumo mayor a 300 kW·h.

$$MA_p = (E_p)(CE) \quad (19)$$

Donde MA_p es el monto anual ahorrado por pérdidas [USD] y CE el costo de la energía [USD/kW·h].

$$MA_p = (242,214 \text{ kW}\cdot\text{h/año})(0,104 \text{ USD/kW}\cdot\text{h})$$

$$MA_p = 25,19 \text{ USD/año}$$

3.1.7. Emisiones de CO₂ reducidas

Los estudios de eficiencia energética contribuyen a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, por consiguiente, a partir de la ecuación 20 se obtiene los kilogramos de CO₂ anuales que dejarán de ser expulsadas al ecosistema.

$$RCO_2 = (EF_{\text{grid,CM,2020}})(E_{aT}) \quad (20)$$

En el que RCO₂ es la reducción de emisiones de CO₂, EF_{grid,CM,2020} el factor de emisión de CO₂ Ex Post del 2020 (0,1917 kg CO₂/kW·h para proyectos de eficiencia energética) y E_{aT} la energía anual total disminuida [102].

Para determinar las emisiones de CO₂ evitadas se considera el ahorro energético de cada propuesta presentada en el informe, tal como visualiza la siguiente tabla:

Tabla 68. Emisiones de CO₂ evitadas a través de las propuestas de mejora.

Propuesta	Ahorro energético (kW·h/año)	Emisión de CO ₂ evitadas (kg CO ₂ /año)
Sistema de iluminación LED con control de presencia	124,600	23,886
Compensación reactiva	242,214	46,432
Replanteo del contrato de suministro eléctrico	–	–
Total	366,814	70,318

Fuente: Autores.

3.1.8. Análisis estadístico de la radiación media diaria mensual

La tabla 69 indica la irradiancia global media diaria de la finca "La Cordillera", obtenida a través de la metodología detallada en los anexos 16 – 17 durante los períodos de abril – diciembre 2020 y enero – marzo 2021.

Tabla 69. Irradiancia global promedio diaria de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL PROMEDIO DIARIA												
Lugar: Finca "La Cordillera"											Unidades: W/m ²	
Año	2020									2021		
Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Hora												
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,75	0,75	0,25	0,00	0,00	0,00
7:00	15,00	11,75	12,00	6,75	9,50	10,75	30,75	23,00	11,00	10,50	8,50	12,25

IRRADIANCIA GLOBAL PROMEDIO DIARIA												
Lugar: Finca "La Cordillera"											Unidades: W/m ²	
Año	2020									2021		
Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Hora												
8:00	114,50	122,25	110,75	81,50	104,00	108,50	268,25	113,00	32,50	80,00	50,25	82,75
9:00	360,50	315,50	314,00	255,25	279,50	316,00	528,75	469,50	378,50	193,00	208,00	260,25
10:00	403,50	540,25	534,50	400,00	489,25	558,75	701,00	690,25	472,75	298,25	524,00	346,25
11:00	297,50	254,25	409,00	418,25	684,00	643,50	920,50	876,25	305,75	307,50	306,75	227,00
12:00	347,00	287,50	313,25	258,75	757,75	830,75	926,50	976,00	296,25	385,50	256,25	325,50
13:00	324,75	301,50	315,25	183,50	876,75	214,00	292,25	962,75	147,00	218,75	343,50	231,00
14:00	134,75	222,50	219,50	211,25	870,50	149,25	193,50	127,75	227,00	370,75	256,50	266,50
15:00	160,00	156,25	232,75	139,00	147,00	197,00	177,75	113,25	189,75	181,25	315,50	88,25
16:00	52,75	156,25	238,00	92,50	93,75	81,00	80,00	83,75	81,50	122,75	146,50	82,75
17:00	47,50	55,00	85,25	58,00	105,00	79,75	99,25	46,75	34,25	81,75	90,00	124,75
18:00	14,00	30,50	31,00	29,00	29,75	36,75	20,00	22,25	14,00	59,00	51,00	33,50
19:00	3,50	1,25	2,00	3,00	2,75	1,25	0,75	0,75	1,00	3,00	6,00	1,50

Fuente: Autores.

Con base a los datos anteriores y mediante la ecuación 10 se obtiene la irradiación global promedio diaria del sitio bajo estudio, que consiste en la sumatoria de las irradiancias durante el período de 6:00 – 19:00, para una mejor referencia véase tabla 70.

Tabla 70. Irradiación global media diaria de la finca "La Cordillera".

IRRADIACIÓN GLOBAL MEDIA DIARIA												
Lugar: Finca "La Cordillera"											Unidades: kW·h/(m ² ·día)	
2020									2021			Anual*
Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
2,28	2,45	2,82	2,14	4,45	3,23	4,24	4,51	2,19	2,31	2,56	2,08	2,94

*Valor medio anual de la irradiación global diaria (G_{da}).

Fuente: Autores.

Según la figura 72, la irradiación global media diaria presenta su valor pico en noviembre de 4,51 kW·h/(m²·día), y el mes de marzo correspondiente al año 2021 posee la menor insolación equivalente a 2,08 kW·h/(m²·día).

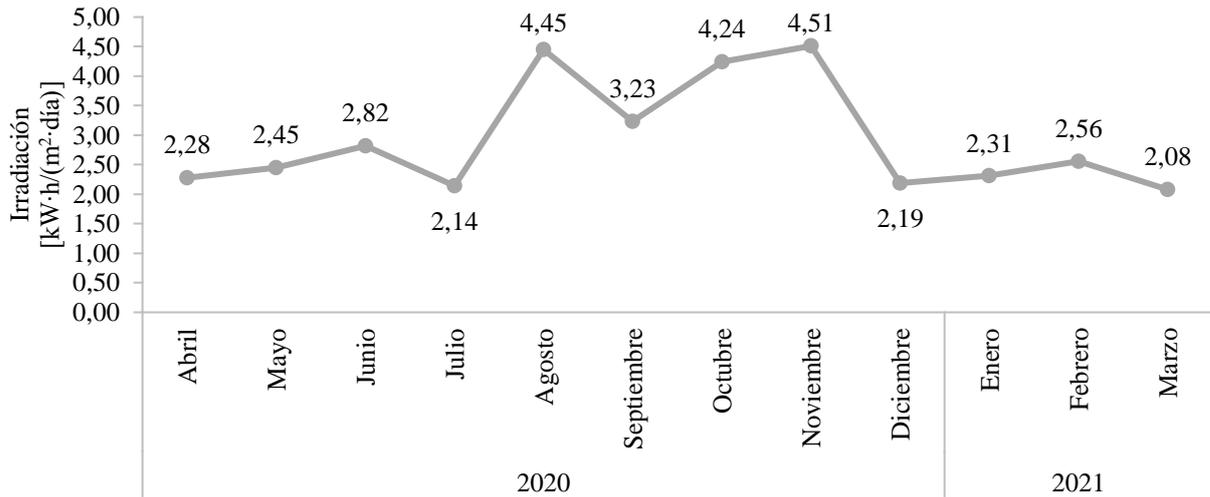


Fig. 72. Curva de los valores medios mensuales de la irradiación global diaria en la finca "La Cordillera".

Fuente: Autores.

A continuación, mediante la expresión 11 se obtiene la hora solar pico promedio anual diaria para determinar el tiempo con una radiación ideal de 1.000 W/m².

$$HSP = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta)}{1.000 \text{ W/m}^2}$$

$$HSP = \frac{2,94 \text{ kW}\cdot\text{h} / (\text{m}^2\cdot\text{día})}{1.000 \text{ W/m}^2}$$

$$HSP = 2,94 \text{ h/día}$$

3.2. Validación técnica-económica

Para determinar la rentabilidad de la inversión se utiliza las herramientas financieras denominadas Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Factor de Recuperación de Capital (FRC), Relación Beneficio/Costo (B/C) y el Período de Recuperación (PR) [133], [134], [135].

3.2.1. Valor Presente Neto

Constituye aquel valor monetario que expresa la intención del inversionista de recuperar el capital y alcanzar beneficios superiores a los esperados [134]. Si el VPN resulta ser positivo el proyecto es viable, caso contrario, debe rechazarse [134], [136]. Matemáticamente se representa como [135], [137]:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (21)$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial [135], [137].

Q_t : flujos de caja para cada período t [135], [137].

n : número de períodos a considerar [135].

k : tasa de descuento o tipo de interés (COK) [137].

Según el Banco Central del Ecuador la tasa pasiva referencial por plazo de 361 y más, es del 7,48% (dato referenciado el 06 de octubre del 2021) misma que será utilizada como el COK anual para las diferentes propuestas [138].

3.2.2. Tasa Interna de Retorno

Este índice de evaluación financiera establece la rentabilidad media anual producto del capital que permanece invertido en el proyecto [139]. La TIR es la tasa de descuento mediante la cual el valor presente neto se hace cero [139], [140].

Las inversiones resultan rentables si la tasa interna de retorno (TIR) es mayor al costo de oportunidad del capital (COK), caso contrario, no conviene invertir en el proyecto [136], [140].

Como ecuación se aplica la siguiente expresión [139]:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0 \quad (22)$$

3.2.3. Factor de Recuperación de Capital

Denominado también como factor de anualización, es empleado comúnmente para convertir el capital inicial o valor actual del dinero en anualidades o flujos constantes [141], [142]. Por tanto [141], [143]:

$$FRC = \frac{k(1+k)^n}{(1+k)^n - 1} \quad (23)$$

3.2.4. Relación Beneficio/Costo

Permite comparar los beneficios y costos que implica tomar una decisión [144]. Si el indicador B/C es mayor a 1 el proyecto resulta rentable, sin embargo, al ser menor a la unidad no conviene realizar la inversión [144].

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor actual de los flujos futuros}}{\text{Inversión inicial}} \quad (24)$$

3.2.5. Período de Recuperación Compuesto

Se basa en determinar el plazo requerido para recuperar la inversión inicial. Generalmente, el proyecto resulta viable al disponer de un PR_c menor a 8 años [134], [145], [146], [147].

$$PR_c = \frac{\ln \left[\frac{-Q}{(I_0)(k) - Q} \right]}{\ln(1+k)} \quad (25)$$

3.2.6. Análisis financiero de la compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico

Conforme a las simulaciones del sistema eléctrico de la finca, la compensación reactiva fija mejora el factor de potencia de acuerdo al comportamiento de la demanda. Para el análisis económico se considera la inversión total del banco de capacitores y del replanteamiento del contrato de suministro eléctrico por superar el valor exigido del ARCERNN de 0,92.

Tabla 71. Inversión para la compensación reactiva y replanteamiento del contrato de suministro eléctrico.

Cantidad	Descripción	Precio Unit. (\$)	Precio Total (\$)
1	Condensador accionado por contactor de 1,32 kVAr	74,07	74,07
1	Condensador accionado por contactor de 4 kVAr	100,46	100,46
1	Condensador permanente de 0,14 kVAr	4,91	4,91
1	Condensador permanente de 0,08 kVAr	4,46	4,46
2	Interruptor termomagnético bipolar de 15 A	12,22	24,44
1	Instalación	60,00	60,00
1	Replanteamiento del contrato de suministro eléctrico	0,00	0,00
		Subtotal	268,35
		I.V.A 12%	32,20
		Total	300,55

Fuente: Autores.

Tabla 72. Egresos de la compensación reactiva.

Descripción	Costo anual (\$)
Mantenimiento preventivo de la compensación reactiva	30,00
	Subtotal
	I.V.A 12%
	Total

Fuente: Autores.

Para estimar la vida útil de los condensadores (V_{ut}), se toma en cuenta las 10.000 h de operación que brindan los capacitores y un uso diario estimado de 5 horas, por lo cual:

$$V_{ut} = \frac{10.000 \text{ h}}{(5 \text{ h/día})(365 \text{ días/año})}$$

$$V_{ut} = 5,48 \text{ años}$$

De esta manera, se considera un plazo de 5 años pues el tiempo de vida útil de los condensadores ronda los 5,48 años. Además, la siguiente tabla muestra el ahorro económico de las dos propuestas.

Tabla 73. Ahorro económico de la compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico.

Propuesta	Ahorro energético (kW·h/año)	Ahorro económico (USD/año)
Compensación reactiva	242,214	25,19
Replanteo del contrato de suministro eléctrico	–	220,44
Total	242,214	245,63

Fuente: Autores.

Tabla 74. Evaluación financiera de la compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico.

Inversión	\$ 300,55	Plazo	5 años	Tasa de interés anual	7,48%
Períodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
0	\$ 300,55		\$ 0,00	\$ -300,55	\$ -300,55
1		\$ 33,60	\$ 245,63	\$ 212,03	\$ 197,27
2		\$ 33,60	\$ 245,63	\$ 212,03	\$ 183,54
3		\$ 33,60	\$ 245,63	\$ 212,03	\$ 170,77
4		\$ 33,60	\$ 245,63	\$ 212,03	\$ 158,89
5		\$ 33,60	\$ 245,63	\$ 212,03	\$ 147,83
Valor Actual Neto			\$ 557,75	Tasa Interna de Retorno	64,73%
Relación Beneficio/Costo			2,86	Período de Recuperación	1,554 años

Fuente: Autores.

Con un VAN positivo y TIR mayor al COK, la propuesta es rentable, pues el resultado del B/C muestra que por cada dólar invertido existe una ganancia neta de 1,86 dólares, lo cual permite recuperar la inversión en 1 año, 6 meses, 19,44 días.

3.2.7. Análisis económicos del sistema de iluminación LED con control de presencia, compensación reactiva y replanteo del contrato de suministro eléctrico

El presente análisis considera las diferentes propuestas expuestas en el informe investigativo, donde la tabla 75 visualiza la inversión inicial necesaria para la implementación del sistema de iluminación LED con control de presencia.

Tabla 75. Inversión del sistema de iluminación LED con control de presencia.

Cantidad	Descripción	Precio Unit. (\$)	Precio Total (\$)
3	Luminaria LED de 72 W	72,30	216,90
2	Luminaria LED de 18 W	9,95	19,90
2	Luminaria LED de 13,5 W	8,55	17,10
6	Luminaria LED de 10 W	6,87	41,22
2	Luminaria LED de 8 W	6,20	12,40
342	Metro de alambre conductor No. 14 AWG 19 hilos THHN	0,34	116,28
2	Interruptor termomagnético bipolar de 2 A	12,22	24,44
56	Metro de manguera anillada flexible reforzada de 1/2"	0,18	10,08
13	Metro de manguera anillada flexible de 1/2"	0,13	1,69
2	Poste metálico de 6 m con brazos de soporte de 1,76 m de 2"	135,00	270,00
3	Sensor de presencia para interior	6,20	18,60
1	Sensor de presencia para exterior	7,90	7,90
3	Interruptor sencillo bipolar	5,00	15,00
1	Mano de obra calificada	35,00	35,00
1	Mano de obra no calificada	30,00	30,00
Subtotal			836,51
Otros Gastos			10,00
I.V.A 12%			101,58
Total			948,09

Fuente: Autores.

Tabla 76. Egresos del sistema de iluminación LED con control de presencia.

Descripción	Costo anual (\$)
Mantenimiento preventivo del sistema de iluminación LED con control de presencia	25,00
Subtotal	25,00
I.V.A 12%	3,00
Total	28,00

Fuente: Autores.

La siguiente tabla muestra de manera resumida los ahorros energéticos y económicos, los egresos anuales e inversión total requerida, donde VP1 representa al sistema de iluminación LED con control de presencia, VP2 es la compensación reactiva, VP3 el replanteo del contrato de suministro eléctrico.

Tabla 77. Balance económico de las propuestas de mejora.

Propuesta	Ahorro energético (kW·h/año)	Ahorro económico (USD/año)	Inversión total (USD)	Egresos anuales (USD)
VP1	124,600	12,96	948,09	28,00
VP2	242,214	25,19	300,55	33,60
VP3	–	220,44	–	–
Total	366,814	258,59	1.248,64	61,60

Fuente: Autores.

El análisis financiero considera un plazo de 10 años debido a que la vida útil de las lámparas LED ronda los 23 años, pero debe tomarse en cuenta la reinversión de los condensadores (tabla 78) cada 6 años.

Tabla 78. Reinversión de la compensación reactiva.

Cantidad	Descripción	Precio Unit. (\$)	Precio Total (\$)
1	Condensador de 4 kVAr	26,09	26,09
1	Condensador de 1,32 kVAr	18,05	18,05
1	Condensador de 0,14 kVAr	4,91	4,91
1	Condensador de 0,08 kVAr	4,46	4,46
1	Instalación	20,00	20,00
Subtotal			73,52
I.V.A 12%			8,82
Total			82,34

Fuente: Autores.

Tabla 79. Evaluación financiera de las propuestas de mejora.

Inversión	\$ 1.248,64	Plazo	10 años	Tasa de interés anual	7,48%
Períodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
0	\$ 1.248,64		\$ 0,00	\$ -1.248,64	\$ -1.248,64
1		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 183,28
2		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 170,53
3		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 158,66
4		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 147,62
5		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 137,34
6		\$ 143,94	\$ 258,59	\$ 114,65	\$ 74,37
7		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 118,89
8		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 110,62
9		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 102,92
10		\$ 61,60	\$ 258,59	\$ 196,99	\$ 95,76
Valor Actual Neto		\$ 51,34		Tasa Interna de Retorno	8,38%
Relación Beneficio/Costo		1,04		Período de Recuperación	9,464 años

Fuente: Autores.

Al tener un VAN positivo y TIR mayor al COK, el proyecto resulta rentable, ya que por cada dólar invertido existe una ganancia neta de 4 centavos, donde la inversión total es recuperada en 9 años, 5 meses, 17,04 días.

3.2.8. Indicadores de desempeño energético con propuestas de mejora

Las diferentes propuestas analizadas en la presente investigación permitieron mejorar los indicadores IDEn actuales del anexo 1. A continuación, se visualiza el desempeño energético:

Tabla 80. Indicadores de desempeño energético actuales vs propuestos.

Sistema eléctrico	Consumo eléctrico (kW·h/año)	Emisión de CO ₂ (kg CO ₂ /año)	Producción de leche (L/año)	Consumo energético por litro de leche producido (kW·h/L)
Actual	9.837,000	1.885,753	183.099	0,0537
Propuesto	9.470,186	1.815,435	183.099	0,0517
Ahorro	366,814	70,318	–	0,0020

Fuente: Autores.

3.2.9. Indicadores económicos con propuestas de mejora

En vista que el propietario de la finca deseó disminuir los egresos de dinero sin perjudicar la calidad del producto, se determina los indicadores económicos.

Tabla 81. Indicadores económicos actuales vs propuestos.

Sistema eléctrico	Producción de leche (L/año)	Costo energético (USD/año)	Costo energético específico (ctvs./L)
Actual	183.099	1.160,69	0,634
Propuesto	183.099	902,10	0,493
	Ahorro económico	258,59	0,141

Fuente: Autores.

3.3. Evaluación de impactos o resultados

Al implementar el proyecto de investigación se contempla el impacto técnico, ambiental como económico producto de la evaluación de la eficiencia energética en la finca “La Cordillera”, y estos son detallados a continuación:

3.3.1. Impacto técnico

El sistema de iluminación LED con control de presencia junto a la corrección del factor de potencia proyectan un ahorro energético de 366,814 kW·h/año.

3.3.2. Impacto ambiental

Uno de los beneficios de la eficiencia energética es que el proyecto aporta en el cuidado del ecosistema, por evitar la emisión de 70,318 kg de CO₂ al año.

3.3.3. Impacto económico

La compensación reactiva junto al nuevo sistema de alumbrado y replanteo del contrato de suministro eléctrico generan ingresos anuales de \$258,59, con un período de recuperación de la inversión inicial de 9 años, 5 meses, 17,04 días.

3.4. Conclusiones

- El ahorro de energía eléctrica del sistema de iluminación conformado por tecnología LED y sensores de presencia se sitúa en los 124,60 kW·h/año, es decir, 36,62% respecto al estado actual.
- Mediante la compensación reactiva se incrementó el factor de potencia actual de 0,76 a un rango de 0,9547 – 0,976, para cumplir con el valor límite establecido por el ARCERNNR de 0,92 y no sobrecompensar el sistema.
- Al cambiar la categoría tarifaria actual de residencial a comercial sin demanda en bajo voltaje se alcanza un ahorro monetario anual de 220,44 USD, con la ventaja adicional de no requerir de inversión inicial.

CONCLUSIONES GENERALES

- Según el diagrama de Pareto, el portador energético económicamente más representativo corresponde al consumo de electricidad, por representar el 88,09% de los egresos totales de dinero durante el período abril 2020 – marzo 2021.
- Producto del incremento de la producción lechera conjuntamente con el uso ineficiente de la energía, reflejado por caídas de voltaje, bajo factor de potencia y pérdidas eléctricas, ocasionó un aumento del 34,24% de la demanda energética entre el 2018 al 2020.
- De acuerdo al análisis de calidad de energía efectuado, las instalaciones ganaderas cumplen la normativa ARCERNNR 002/20, respecto a los niveles de voltaje, desequilibrio de tensión, distorsión armónica y flicker.
- Debido a las cargas inductivas el factor de potencia promedio en los períodos de funcionamiento es 0,76, donde incluso el FP tiene valores de 0,60, objeto de sanciones conforme los límites establecidos por el ARCERNNR.
- La mayor variación porcentual entre las mediciones de la iluminación actual efectuadas del 12/04/2021 hasta el 16/04/2021, se presenta en el cuarto de máquina con un rango del -2,47% al 2,30%, valores situados dentro del límite de precisión del equipo de medición de $\pm 3\%$.
- Actualmente, la iluminancia de cada área de trabajo incumple los criterios de aceptación según normativa, donde, el cuarto de máquina presenta la menor iluminación de 56,6 lx, inferior a lo requerido de 150 lx.

- A demanda máxima la caída de voltaje hasta la electrobomba 2 es 7,55% que resulta mayor al límite establecido del 5%, y para el sistema de iluminación de 5,45% excede el 3%.
- Al emplear 15 lámparas LED de eficiencia luminosa entre 118 lm/W – 141,5 lm/W, el sistema de iluminación mediante control de presencia cumple los criterios primordiales de la calidad lumínica con un ahorro energético anual de 124,60 kW·h, pese a iluminar adicionalmente el estacionamiento y la bodega de alimentos.
- Respecto al valor de eficiencia energética de la instalación lumínica (VEEI), la diferencia más significativa entre el estado actual de 17,21 W/(m²·lx) y la propuesta de mejora con 1,43 W/(m²·lx) se presenta en el cuarto de máquinas.
- La corrección del factor de potencia mediante compensación fija accionada por contactor y el sistema de iluminación LED con control de presencia, implicó la disminución de la cargabilidad del transformador monofásico en un 21,66%.
- Con un costo de la energía según el pliego tarifario de 0,104 USD/kW·h, se alcanza anualmente el ahorro monetario de 25,19 USD por concepto de la disminución de las pérdidas energéticas equivalentes a 242,214 kW·h/año.
- Los indicadores de desempeño energético como el consumo eléctrico presentaron una mejora de 9.837 kW·h/año a 9.470 kW·h/año, consecuentemente, el gasto de energía por litro de leche producido disminuyó de 0,0537 kW·h/L a 0,0517 kW·h/L y las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas fueron de 70,318 kg CO₂/año.
- Mediante ahorros anuales de 258,59 USD se obtiene un valor actual neto positivo de 51,34 USD y una tasa interna de retorno de 8,38%, la cual es superior al tipo de interés del 7,48%, lo que implica la rentabilidad del proyecto.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Durante la operación de la industria ganadera o en caso de futuras ampliaciones por aumento de la producción lechera, se debe mantener actualizado el diagrama unifilar, los planos eléctricos como arquitectónicos e historial del consumo de energía.
- Efectuar la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a motores, equipos de control, instalaciones eléctricas y sistema de iluminación de la finca “La Cordillera”, para evitar paralizaciones durante la producción lechera.

- Ampliar los estudios de eficiencia energética en fincas ganaderas de sectores aledaños para detectar oportunidades de mejora durante el uso de la energía, que permitan disminuir el consumo de la electricidad y las emisiones de CO₂.
- Con la finalidad de monitorear los parámetros eléctricos en tiempo real, debe considerarse la instalación de medidores de energía Siemens SENTRON, ya que se obtiene un panorama completo del comportamiento energético.
- Parte de la mejora continua durante el uso racional de la energía consiste en evaluar la calidad del suministro eléctrico, al implementar el sistema de compensación reactiva e iluminación LED mediante sensores de presencia.
- Al presentarse inconvenientes en las bombas autocebantes, es necesario reemplazar los equipos actuales por electrobombas monofásicas a 220 V de mejor eficiencia, para disminuir el desequilibrio de corriente y consumo energético.
- Considerar el dimensionamiento e implementación de un grupo electrógeno como fuente de energía de respaldo, para solventar la interrupción del suministro eléctrico durante las horas de ordeño y la recolección del producto lácteo.
- Analizar la viabilidad y rentabilidad de un sistema de regulación automático de los niveles de iluminación en el patio de espera, acorde al desarrollo de la actividad laboral, con el propósito de disminuir el consumo de energía eléctrica.
- Para disminuir la potencia máxima en horas de ordeño, resulta importante desplazar el funcionamiento de la electrobomba 2 entre las 8:00 am hasta la 1:00 pm, período durante el cual se desarrolla una menor actividad ganadera.
- Verificar si el sistema de puesta a tierra, garantiza la protección del personal contra contactos indirectos, o corrientes estáticas almacenadas en carcasas metálicas de los equipos existentes dentro de las instalaciones ganaderas.
- Aumentar la base de datos de la irradiancia global promedio diaria para la evaluación de su comportamiento en diferentes años, debido a los efectos negativos de la nubosidad y contaminación sobre la radiación directa.
- Evaluar a largo plazo la factibilidad del dimensionamiento de un sistema solar térmico o fotovoltaico en la finca “La Cordillera”, con la finalidad de sustituir el uso del gas licuado de petróleo y alimentar las bombas autocebantes mediante energía renovable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Google. (2020, Enero 08). Google Earth [En línea]. Disponible en: <https://earth.google.com/web/>
- [2] MEER (2017, Septiembre 5). WEBINER – Implementación de la Eficiencia Energética en Ecuador [En línea]. Disponible en: <http://historico.energia.gob.ec/sector-electrico-webiner-implementacion-de-la-eficiencia-energetica-en-ecuador/>
- [3] F. Rey y E. Velasco, *Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditoría energéticas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2006.
- [4] MEER, “Ley orgánica de eficiencia energética”, No. 449, Marzo 19, 2019.
- [5] M. M. Josijević *et al.*, “Ranking energy performance opportunities obtained with energy audit in dairies”, *Thermal Sci.*, vol. 24, no. 5A, págs. 2865–2878, Feb. 2020, doi: 10.2298/TSCI191125100J.
- [6] N. Larraondo, “Auditoría energética e implantación del sistema de gestión energética en un edificio de oficinas”, Tesis MSc., DMMT, UPV/EHU, Bilbao, España, 2019.
- [7] M. M. Josijević *et al.*, “A method to estimate savings of led lighting installation in public buildings: The case study of secondary schools in Serbia”, *Thermal Sci.*, vol. 21, no. 6B, págs. 2931–2943, May. 2017, doi: 10.2298/TSCI161209118J.
- [8] A. Ríos *et al.*, “Optimización del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación en espacios interiores de la Universidad Técnica de Ambato”, *R. Téc. Energía*, vol. 15, no. 1, págs. 70–79, Jul. 2018, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V15.N1.2018.325.
- [9] L. P. de Lima *et al.*, “The energy mix and energy efficiency analysis for Brazilian dairy industry”, *J. of Cleaner Prod.*, vol. 181, págs. 209–216, Abr. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.221.
- [10] M. Rajaniemi *et al.*, “Electric energy consumption of milking process on some Finnish dairy farms”, *AFSci*, vol. 26, no. 3, págs. 160–172, Oct. 2017, doi: 10.23986/afsci.63275.
- [11] H. M. Abrar *et al.*, “Energy efficiency outlook of New Zealand dairy farming systems: An application of Data Envelopment Analysis (DEA) approach”, *Energies*, vol. 13, no. 1, págs. 251–264, Ene. 2020, doi: 10.3390/en13010251.

- [12] A. Moerkerken *et al.*, “Determinants of energy efficiency in the Dutch dairy sector: dilemmas for sustainability”, *J. of Cleaner Prod.*, vol. 293, págs. 1–10, Abr. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126095.
- [13] B. M. Cárdenas, “Auditoría energética de las instalaciones de la empresa ecuatoriana de artefactos S.A. ECASA”, Tesis MSc., DIM, EPN, Quito, Ecuador, 2017.
- [14] K. B. Guerra, “Modelo de un sistema de gestión de la energía según la norma ISO 50001:2011 en la empresa Arboriente S.A Pastaza - Ecuador”, Tesis MSc., FF, UB, Barcelona, España, 2017.
- [15] R. E. Gutiérrez, “Auditoría energética del proceso productivo de Arboriente S.A. Empresa productora de madera terciaria Pastaza - Ecuador”, Tesis MSc., FF, UB, Barcelona, España, 2017.
- [16] C. A. Cáceres, “Diseño de estrategias de gestión ambiental para mejorar la eficiencia energética en la edificación del Bloque “D” de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil”, Tesis MSc., FIQ, UG, Guayaquil, Ecuador, 2017.
- [17] P. D. Proaño, “Sistema integrado de eficiencia energética para optimizar los procesos de producción en la industria láctea”, Tesis MSc., FISEI, UTA, Ambato, Ecuador, 2018.
- [18] J. C. Palacios, “Diagnóstico energético del sistema de distribución y calentamiento de agua del hotel El Libertador de la ciudad de Riobamba. Diseño de un plan de mejora de eficiencia energética para dar soluciones técnicas y económicamente viable”, Tesis MSc., DP, UTC, Latacunga, Ecuador, 2019.
- [19] E. R. Quintana, “Diagnóstico del comportamiento de la demanda de energía eléctrica en la empresa Puertas Induce del Ecuador de la ciudad de Latacunga sector Tandalivi para determinar parámetros de eficiencia energética. Diseño de un plan de mejoras para el portador eléctrico”, Tesis MSc., DP, UTC, Latacunga, Ecuador, 2017.
- [20] F. Cedeño y J. Rivas, *Análisis de la eficiencia energética en la actividad hotelera*, 1ra. ed. Oviedo, España: Septem, 2009.
- [21] P. Gadoneix, “Eficiencia energética: Una receta para el éxito”, Consejo Mundial de la Energía, Londres, Reino Unido, Inf. Téc. 9780946121007, 2010.
- [22] J. Schallenberg *et al.*, *Energías renovables y eficiencia energética*, 1ra. ed. Canarias, España: ITC, 2008.

- [23] J. Serra, *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica*, 3ra. ed. Barcelona, España: Circutor, 2009.
- [24] A. Eras, *Guía práctica para el uso eficiente de la energía eléctrica en el Ecuador - MEER*, 1ra. ed. Quito, Ecuador: ZIETTE, 2016.
- [25] MEER y BID, *Plan nacional de eficiencia energética 2016 – 2035*, 1ra. ed. Quito, Ecuador: Manthra Comunicación, 2017.
- [26] L. Navas y F. Baptista, “Auditorías energéticas en instalaciones ganaderas. Parte 1: Manual para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas”, IDAE, Madrid, España, Doc. Téc. 14, 2010.
- [27] IDAE, “Ahorro y eficiencia energética en instalaciones ganaderas”, MINCOTUR, Madrid, España, Doc. Téc. 03, 2005.
- [28] D. Bartolomé *et al.*, *Manual de buenas prácticas de ahorro y eficiencia energética en explotaciones de vacuno lechero*, 2da. ed. Valladolid, España: ITACYL, 2011.
- [29] M. Laire, Y. Fiallos y Á. Aguilera, *Guía de implementación de sistemas de gestión de energía basados en ISO 50001*, 4ta. ed. Santiago, Chile: AChEE, 2018.
- [30] F. Rey, E. Velasco y J. Rey, *Eficiencia energética de los edificios. Sistemas de gestión energética ISO 50001. Auditorías energéticas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2018.
- [31] INEN, “Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso”, 50001, Julio 11, 2019.
- [32] G. Escobar y J. García, *Gestión de la eficiencia energética a través de proveedores de servicios energéticos*, 1ra. ed. Madrid, España: AENOR, 2020.
- [33] O. Prias, J. Campos, D. Rojas y A. Palencia, *Implementación de un sistema de gestión de la energía. Guía con base en la norma ISO 50001*, 2da. ed. Bogotá, Colombia: RECIEE, 2019.
- [34] R. Rosas, *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía en el contexto centroamericano*, 1ra. ed. CDMX, México: ASI/ CADIN/ Conuee/ GIZ, 2018.
- [35] GIZ, *Guía técnica para la implementación de un sistema de gestión de la energía en el marco de una red de aprendizaje*, ed. Febrero. CDMX, México: Sandoval, 2017.
- [36] DCEF, *Manual de eficiencia energética residencial y comercial*, 1ra. ed. Santa Tecla, El Salvador: UCA, 2012.

- [37] L. McLaughlin, W. Meffert, A. McKane y R. Vermeeren, *Guía práctica para la implementación de un sistema de gestión de la energía*, 1ra. ed. Viena, Australia: ONUDI/MEER, 2015.
- [38] J. Dufour *et al.*, *Gestión de la eficiencia energética en el sector terciario y la administración pública*, 1ra. ed. Madrid, España: AENOR, 2020.
- [39] A. Carretero y J. García, *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*, 2da. ed. Madrid, España: AENOR, 2015.
- [40] E. Cosenza *et al.*, “Sistema de gestión de la energía (SGEn) para las autoridades locales”, C4S, UE, 2018.
- [41] G. Enríquez, *Curso de transformadores y motores de inducción*, 4ta. ed. CDMX, México: Limusa, 2005.
- [42] C. González, L. González, E. Juaneda y J. Pelegrín, *La calidad en las organizaciones turísticas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2014.
- [43] L. Cuatrecasas y J. González, *Gestión integral de la calidad: implantación, control y certificación*, 5ta. ed. Barcelona, España: Profit, 2017.
- [44] P. López, *Herramientas para la mejora de la calidad: métodos para la mejora continua y la solución de problemas*, 1ra. ed. Madrid, España: Fundación Confemetal, 2016.
- [45] M. Cañedo, *MF0665_3: gestión de la calidad y medioambiental en industrias de proceso*, 6ta. ed. Madrid, España: Elearning, 2017.
- [46] J. Dueñas, *UF2122: gestión y dirección de equipos de encuestadores*, ed. 5.1. Madrid, España: Elearning, 2016.
- [47] M. Laire, Y. Fiallos y Á. Aguilera, *Beneficios de los sistemas de gestión de energía basados en ISO 50001 y casos de éxito*, 4ta. ed. Santiago, Chile: AChEE, 2017.
- [48] NZ NOVA, *Guía de gestión energética municipal en base a la norma ISO 50001*, 1ra. ed. León, España: EnerAgen, 2015.
- [49] A. Aranda, F. Barrio, M. García y E. Alcalde, *Sistemas de gestión de la energía ISO 50001*, 1ra. ed. Zaragoza, España: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2014.
- [50] INEN, “Auditorías energéticas – Requisitos con orientación para su uso”, 50002, Abril 19, 2016.

- [51] AChEE y Prime Tec Capacitación, *Curso de proyectos y auditorías de eficiencia energética. Manual interactivo del alumno*, 2da. ed. Santiago, Chile: AChEE, 2016.
- [52] F. García, M. Yujato y A. Arenas, *Manual de estadística energética*, 2da. ed. Quito, Ecuador: OLADE, 2017.
- [53] D. Carrasco *et al.*, *Medición y verificación en la gestión de proyectos de eficiencia energética – Agroindustria*, 1ra. ed. Santiago, Chile: AChEE, 2015.
- [54] R. Balderrama, S. Gopel, J. Lobo, P. Meneses y K. Pérez, *Guía metodológica de auditoría energética en agroindustria*, 1ra. ed. Santiago, Chile: AgenciaSE y MinEnergía, 2019.
- [55] D. Covarrubias, *Manual práctico de iluminación*, 1ra. ed. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile, 2018.
- [56] S. Martín, *UF0567: Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior*, ed. 5.1. Málaga, España: Elearning, 2015.
- [57] V. Márquez, J. González y J. González, *UF0567: Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior*, 1ra. ed. Andalucía, España: IC Editorial, 2013.
- [58] A. Liñán, *UF1442: Realización de las intervenciones necesarias para el montaje de las instalaciones eléctricas en el entorno de edificios*, 5ta. ed. Madrid, España: Elearning, 2015.
- [59] J. Rodríguez y A. García – Heras, *Documentación técnica en instalaciones eléctricas*, 2da. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2017.
- [60] M. Cabello, *Instalaciones eléctricas interiores*, 1ra. ed. Madrid, España: Editex, 2019.
- [61] M. Obregón, *Fundamentos de ergonomía*, 1ra. ed. Azcapotzalco, México: Grupo Editorial Patria, 2016.
- [62] F. Fernández, *Instalaciones eléctricas en edificios de oficinas, comercios e industrias (MF0821)*, 1ra. ed. Barcelona, España: Cano Pina, 2015.
- [63] A. Mendoza, *UF0538: Montaje de elementos y equipos de instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios*, 1ra. ed. Andalucía, España: IC Editorial, 2013.
- [64] J. Cantos y J. Pérez, *Instalaciones eléctricas básicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2018.

- [65] J. García, *Técnicas y procesos en instalaciones eléctricas*, 2da. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2019.
- [66] V. Márquez, J. González y J. González, *UF0568: Mantenimiento y mejora de las instalaciones en los edificios*, 1ra. ed. Andalucía, España: IC Editorial, 2013.
- [67] INEN, “Eficiencia energética en edificaciones. Requisitos”, 2 506, Junio 22, 2009.
- [68] J. Sánchez y F. Cárcel, *Investigación de los factores incidentes en la eficiencia energética y mantenibilidad de los sistemas de iluminación interior de edificios*, 1ra. ed. Alcoy, España: 3Ciencias, 2015.
- [69] NEC, “Eficiencia energética en edificaciones residenciales (EE)”, NEC – HS – EE, Febrero 05, 2018.
- [70] G. Harper, *Manual práctico del alumbrado*, 1ra. ed. Ciudad de México, México: Limusa, 2007.
- [71] R. Villazón, A. Pinzón, A. Sánchez y D. Rodríguez, *Luz materia: estrategias proyectuales para la iluminación de espacios arquitectónicos*, 1ra. ed. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes, 2018.
- [72] INEN, “Código de práctica para alumbrado público, I parte: alumbrado de calles y carreteras”, 014, Enero 27, 1987.
- [73] G. Harper, *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*. 2da. ed. Ciudad de México, México: Limusa, 2004.
- [74] INEN, “Iluminación natural de edificios para fábricas y talleres. Requisitos”, 1 154, Diciembre 07, 1984.
- [75] ARCERNNR, “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, 002/20, Noviembre 13, 2020.
- [76] M. Baselga, *Electrotecnia*, 1ra. ed. Madrid, España: Editex, 2017.
- [77] IEEE, “Recommended practice for monitoring electric power quality”, Std 1159, Agosto 13, 2019.
- [78] IEEE, “Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems”, Std 519, Junio 11, 2014.

- [79] J. A. Velásquez, “Análisis de las cargas no lineales y su incidencia en la generación de armónicos en la cámara eléctrica del tren de laminación dos de la empresa Novacero S.A. en el período 2016-2017. Diseño de filtros armónicos impares en baja tensión para mejorar la calidad de energía eléctrica”, Tesis MSc., DP, UTC, Latacunga, Ecuador, 2017.
- [80] A. Martínez, *UF0150: Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*, ed. 5.0. Madrid, España: Vértice Books, 2012.
- [81] O. Perpiñán, *Energía solar fotovoltaica*, ed. Noviembre. España: Creative Commons, 2020.
- [82] A. Lira, “Radiación solar invisible y arquitectura”, *Bitácora arquitectura*, vol. 12, no. 35, págs. 116–224, Mar. 2017.
- [83] A. Castejón y G. Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Editex, 2010.
- [84] R. Guerrero, *UF0150: Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*, 2da. ed. Andalucía, España: IC Editorial, 2017.
- [85] M. Moro, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 2da. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2018.
- [86] T. Díaz y G. Carmona, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 2010.
- [87] M. Baselga, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Editex, 2019.
- [88] V. Mascarós, *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2016.
- [89] J. Cantos, *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2016.
- [90] J. Carta, R. Calero, A. Colmenar y M. Castro, *Centrales de energías renovables*, 1ra. ed. Madrid, España: Pearson Educación, 2009.
- [91] M. Tobajas, *Energía solar fotovoltaica*, 1ra. ed. Barcelona, España: Cano Pina, 2018.
- [92] J. Valentín, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Gipuzkoa, España: Donostiarra, 2012.
- [93] Apogee Instruments. (2021, Junio 01). Manual del medidor de radiación solar. Modelos MP-100 y MP-200 [En línea]. Disponible en: <https://www.apogeeinstruments.com/content/MP-100-MP-200-manual.pdf>

- [94] I. Calle, *UF0887: Montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas de interior*, 1ra. ed. Málaga, España: IC Editorial, 2012.
- [95] F. Moreno, J. Zubiaurre y J. Miralles, *Instalaciones eléctricas interiores*, 1ra. ed. Barcelona, España: Cano Pina, 2011.
- [96] Fluke. (2012, Enero 06). Manual de uso Fluke 434-II/435-II/437-II. Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica [En línea]. Disponible en: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/F430-II_umspa0100.pdf
- [97] J. Martín, *Instalaciones eléctricas y domóticas*, 1ra. ed. Madrid, España: Editex, 2018.
- [98] S. Martín, *UF0566: Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios*, ed. 5.0. Málaga, España: Elearning, 2015.
- [99] Fluke. (2020, Abril 29). Manual de uso Fluke 374 FC/375 FC/376 FC. Pinzas amperimétricas [En línea]. Disponible en: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/37xfc__umspa0200.pdf?31MQzrO.dZ8Ay7xGG.s6bcR1PYwaJ7W.
- [100] Cole-Parmer. (2014, Enero 24). Manual de usuario. Digi-Sense modelo 20250-00 [En línea]. Disponible en: <https://pim-resources.coleparmer.com/instruction-manual/digi-sense-20250-00-data-logging-light-meter-instruction-manual.pdf>
- [101] EEQ, “Consulta de transformadores”, Empresa Eléctrica Quito S.A., Machachi, Doc. Int. 73766, Marzo 8, 2021.
- [102] CTFE, “Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador – Informe 2020”, Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero, Quito, Ecuador, Inf. Téc. 2021.
- [103] ARCERNNR, “Pliego Tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica. Período: Enero – Diciembre 2021”, Noviembre 23, 2020.
- [104] CONELEC, “Reglamento de tarifas eléctricas”, No. 598, Junio 17, 2002.
- [105] S. Misak y L. Prokop, *Operation Characteristics of Renewable Energy Sources*, 1ra. ed. Cham, Suiza: Springer, 2017.
- [106] A. Eberhard, *Power Quality*, 1ra. ed. India: InTech, 2011.
- [107] P. Curtis, *Maintaining Mission Critical Systems in a 24/7 Environment*, 3ra. ed. Hoboken, Nueva Jersey: Wiley-IEEE Press, 2021.

- [108] INEN, “Accesibilidad de las personas al medio físico. Estacionamientos”, 2248, Octubre 12, 2016.
- [109] Ministerio del Trabajo, “Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores”, 2393, Febrero 21, 2003.
- [110] CEN, “Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places”, prEN 12464-1, Julio 30, 2019.
- [111] REED Instruments. (2018, Octubre 02). Manual de instrucciones del luxómetro REED R8150 [En línea]. Disponible en: <https://www.reedinstruments.com/pdfs/cache/www.reedinstruments.com/r8150/manual/r8150-manual.pdf>
- [112] SEKONIC. (2019, Enero 31). Manual de uso. Sekonic SpectroMaster C-800 [En línea]. Disponible en: https://www.sekonic.com/sites/sekonic.com/files/Manuals/C-800-U/c-800_es_20190131.pdf
- [113] J. Llopart, *MF1180_3 - Organización y gestión del montaje de las instalaciones eléctricas en el entorno de edificios y con fines especiales*, ed. 5.0. España: Elearning, 2015.
- [114] J. González, M. Pareja y S. Terol, *Instalaciones de distribución*, 1ra. ed. Madrid, España: Editex, 2013.
- [115] NFPA, “Código eléctrico nacional”, 70, Agosto 24, 2016.
- [116] BTICINO. (2021, Septiembre 14). Lighting management: Sensores de Presencia [En línea]. Disponible en: <https://www.bticino.it/interruttori>
- [117] ARCERNNR, “Prestación del servicio de alumbrado público general”, 006/20, Diciembre 30, 2020.
- [118] NEC, “Instalaciones eléctricas”, NEC – SB – IE, Febrero 05, 2018.
- [119] ELECTROCABLES. (2021, Marzo 02). Conductores de cobre THHN [En línea]. Disponible en: <https://www.electrocable.com/uploads/product/conductores-de-cobre-thhn.pdf>
- [120] J. Toledano y J. Sanz, *Instalaciones de distribución*, 2da. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2013.

- [121] J. Oropeza, *Instalaciones eléctricas comerciales e industriales*, 1ra. ed. CDMX, México: Schneider Electric, 2007.
- [122] ARCONEL, “Distribución y comercialización de energía eléctrica”, 001/20, Junio 19, 2020.
- [123] S. Ramírez, *Redes de distribución de energía*, 3ra. ed. Manizales, Colombia: UNAL, 2004.
- [124] J. Polo, L. Pomares y A. Sanfilippo, *Solar Resources Mapping: Fundamentals and Applications*, 1ra. ed. Cham, Suiza: Springer, 2019.
- [125] F. Vignola, J. Michalsky y T. Stoffel, *Solar and Infrared Radiation Measurements*, 2da. ed. Florida, EEUU: CRC Press, 2020.
- [126] M. Markstaler, *Photovoltaik für Ingenieure: Theorie und Anwendung für dezentrale Energiesystem berechnung mit Python*, ed. Septiembre. Norderstedt Alemania: BoD – Books on Demand, 2020.
- [127] ProViento S.A. (2021, Julio 01). Irradiación & Ondas [En línea]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/34-irradiacion-ondas>
- [128] H. te Hessen *et al.*, “Performance of roof-top PV systems in Germany from 2012 to 2018”, *Sol. Energy*, vol. 194, págs. 128–135, Dic. 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.10.019.
- [129] NASA. (2021, Julio 18). Prediction of Worldwide Energy Resource [En línea]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [130] J. Ramos, V. Águila y A. Bazalar, *Estadística básica para los negocios*, 1ra. ed. Lima, Perú: ULIMA, 2020.
- [131] H. Quevedo y B. Pérez, *Estadística para Ingeniería y Ciencias*, 1ra. ed. México: Patria, 2014.
- [132] R. Murray y J. Larry, *Estadística Schaum*, 4ta. ed. México: McGraw-Hill, 2009.
- [133] P. Torres, *Instrumentos financieros básico: guía práctica, apuntes de clase y casos*, 1ra. ed. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2021.
- [134] L. Granda, L. Vallejo y N. Álvarez, *Proyectos ambientales para la minimización de residuos: producción limpia*, 1ra. ed. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2019.

- [135] S. Garrido y M. Romero, *Fundamentos de gestión de empresas*, 2da. ed. Madrid, España: Editorial Universitaria Ramón Areces, 2021.
- [136] E. Bahillo, C. Pérez y G. Escribano, *Gestión financiera*, 2da. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2019.
- [137] F. Pérez, *Manual. Marketing y plan de negocio de la microempresa (UF1820). Certificados de profesionalidad. Creación y gestión de microempresas (ADGD0210)*, 1ra. ed. Madrid, España: CEP, 2017.
- [138] BCE. (2021, Octubre 01). Tasas de interés efectivas vigentes [En línea]. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasHistorico.htm>
- [139] J. Ruíz, H. Ruíz, M. Avila y Z. Sánchez, *Matemáticas financieras para la selección de alternativas*, 1ra. ed. Madera, México: Julio César Ruíz Martínez, 2019.
- [140] N. Moreno y L. Suárez, *Ingeniería económica*, 1ra. ed. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2019.
- [141] K. Lovegrove y W. Stein, *Concentrating solar power technology: principles, developments, and applications*, 2da. ed. Sawston, Reino Unido: Woodhead Publishing, 2021.
- [142] P. Gonzales, *Gestión de la inversión y el financiamiento: herramientas para la toma de decisiones*, 1ra. ed. Ciudad de México, México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos, 2016.
- [143] R. Creese, *Strategic cost fundamentals: for designers, engineers, technologists, estimators, project managers, and financial analysts*, 1ra. ed. San Rafael, Estados Unidos: Morgan & Claypool Publishers, 2018.
- [144] P. Arroyo y R. Vásquez, *Ingeniería económica: ¿Cómo medir la rentabilidad de un proyecto?*, 1ra. ed. Lima, Perú: Universidad de Lima, 2017.
- [145] J. La Cal, *Energía de la biomasa y el agua*, ed. 1.0. Madrid, España: Elearning, 2020.
- [146] M. López, *Finanzas para abogados*, 3ra. ed. Navarra, España: Aranzadi, 2018.
- [147] A. Martínez, F. Fernández, I. Gracia, J. Sánchez, *Bases de economía para la función directiva del ingeniero químico*, 1ra. ed. Castilla-La Mancha, España: Universidad de Castilla-La Mancha, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Auditoría energética de la industria láctea “La Cordillera”.

1. Datos generales de la industria láctea

1.1. Identificación y ubicación

- Finca: La Cordillera.
- Dirección: Principal 101, zona rural el Pongo.
- Parroquia: Alóag.
- Provincia: Pichincha.

1.2. Régimen de funcionamiento

- Principal producción: Ganado vacuno (49 cabezas).
- Producción de leche al año: 183.099 L/año.
- Características productivas: Producción lechera proveniente de ganado vacuno de raza Holstein Neozelandés.
- Cronograma de las actividades diarias

Actividad/equipo	Días	Horario	Duración (min)
Primer ordeño/motor de ordeño.	Lunes – Domingo	4:00 – 6:15	135
Primer calentamiento de agua para limpieza/ cocina industrial a gas.	Lunes – Domingo	5:00 – 6:15	75
Primera refrigeración de leche/tanque de enfriamiento.	Lunes – Domingo	4:30 – 5:30 6:00 – 6:30	90
Primer lavado del equipo de ordeño canalizado/motor de ordeño.	Lunes – Domingo	6:15 – 6:30	15
Limpieza de patios y establos/bomba de agua y de forma manual (pala, escoba).	Lunes – Domingo	6:30 – 9:00	150
Segundo ordeño/motor de ordeño.	Lunes – Domingo	14:00 – 15:45	105
Segundo calentamiento de agua para limpieza/ cocina industrial a gas.	Lunes – Domingo	14:30 – 15:45	75
Segunda refrigeración de leche/tanque de enfriamiento.	Lunes – Domingo	14:10 – 15:10 15:30 – 16:00	90
Segundo lavado del equipo de ordeño canalizado/motor de ordeño.	Lunes – Domingo	15:45 – 16:00	15

- Estructuración de las actividades conforme a las líneas de producción

Actividad	Duración		
	(min/día)	(h/día)	%
Ordeño	270	4,50	45
Calentamiento de agua para lavado	150	2,50	25
Enfriamiento de leche	180	3,00	30
Total	600	10,00	100

2. División básica de las áreas de la finca “La Cordillera”

Croquis de la finca



3. Indicadores de desempeño energético actuales

Las emisiones de dióxido de carbono fueron determinadas con el factor Ex Post del 2020 (0,1917 t CO₂/MW·h o 0,1917 kg CO₂/kW·h) por ser usado en proyectos de eficiencia energética, además posibilita estimar los kg de CO₂ del 2021 al no disponerse de un dato actual [102].

Año	Mes	Consumo eléctrico (kW·h)	Emisión de CO ₂ (kg CO ₂)	Producción de leche (L)	Consumo energético por litro de leche producido (kW·h/L)
2020	Agosto	772	147,99	14.380	0,0537
	Septiembre	891	170,80	16.467	0,0541
	Octubre	898	172,15	16.852	0,0533
	Noviembre	915	175,41	16.941	0,0540
	Diciembre	785	150,48	14.812	0,0530
2021	Enero	842	161,41	16.303	0,0516
	Febrero	814	156,04	15.223	0,0535
	Marzo	883	169,27	16.459	0,0536
	Abril	823	157,77	15.686	0,0525
	Mayo	752	144,16	13.203	0,0570
	Junio	835	160,07	15.731	0,0531
	Julio	627	120,20	11.042	0,0568

Consumo eléctrico (kW·h/año)	Emisión de CO ₂ (kg CO ₂ /año)	Producción de leche (L/año)	Consumo energético por litro de leche producido (kW·h/L)
9.837	1.885,75	183.099	0,0537

4. Iluminación

4.1. Inventario del sistema lumínico

- Croquis del sistema de iluminación



- Características de las instalaciones lumínicas

Área	Cuarto de frío	
Tipo de lámpara	LED	
Potencia de la lámpara (W)	9	
Equipo auxiliar	No	
Número de lámparas	2	
Tipo de luminaria	Cerrada con difusor de vidrio esmerilado	
Potencia máxima instalada (W)	18	
Altura de lámpara (m)	a2	2,80
	b2	2,20
Flujo luminoso (lm)	810	
Superficie a iluminar (m ²)	20,30	
¿La uniformidad de la iluminación es adecuada?	No	
Observaciones: No se evidencia la realización de mantenimientos preventivos (limpieza de las lámparas).		

Área	Cuarto de máquinas
Tipo de lámpara	Incandescente
Potencia de la lámpara (W)	110
Equipo auxiliar	No
Número de lámparas	1
Tipo de luminaria	N/A
Potencia máxima instalada (W)	110
Altura de lámparas (m)	2,1
Flujo luminoso (lm)	1.320
Superficie a iluminar (m ²)	6,68
¿La uniformidad de la iluminación es adecuada?	No
Observaciones: No se evidencia la realización de mantenimientos preventivos (limpieza de las lámparas).	

Área	Cuarto de máquina
Tipo de lámpara	LED
Potencia de la lámpara (W)	9
Equipo auxiliar	No
Número de lámparas	2
Tipo de luminaria	Cerrada con difusor de vidrio esmerilado
Potencia máxima instalada (W)	18
Altura de lámparas (m)	2,15
Flujo luminoso (lm)	810
Superficie a iluminar (m ²)	19,69
¿La uniformidad de la iluminación es adecuada?	No
Observaciones: No se evidencia la realización de mantenimientos preventivos (limpieza de las lámparas).	

Área	Bodega de balanceado
Tipo de lámpara	LED
Potencia de la lámpara (W)	9
Equipo auxiliar	No
Número de lámparas	1
Tipo de luminaria	Cerrada con difusor de vidrio esmerilado
Potencia máxima instalada (W)	9
Altura de lámparas (m)	2,16
Flujo luminoso (lm)	810
Superficie a iluminar (m ²)	4,51
¿La uniformidad de la iluminación es adecuada?	No
Observaciones: No se evidencia la realización de mantenimientos preventivos (limpieza de las lámparas).	

Área	Sala de ordeño
Tipo de lámpara	LED
Potencia de la lámpara (W)	9
Equipo auxiliar	No
Número de lámparas	3
Tipo de luminaria	Cerrada con difusor de vidrio esmerilado
Potencia máxima instalada (W)	27
Altura de lámparas (m)	2,07
Flujo luminoso (lm)	810
Superficie a iluminar (m ²)	30,22
¿La uniformidad de la iluminación es adecuada?	No
Observaciones: No se evidencia la realización de mantenimientos preventivos (limpieza de las lámparas).	

Área	Patio de espera
Tipo de lámpara	Vapor de sodio de alta presión
Potencia de la lámpara (W)	70
Equipo auxiliar	Si
Número de lámparas	1
Tipo de luminaria	Cerrada
Potencia máxima instalada (W)	70
Altura de lámparas (m)	5,56
Flujo luminoso (lm)	6.600
Superficie a iluminar (m ²)	258,61
¿La uniformidad de la iluminación es adecuada?	No
Observaciones: No se evidencia la realización de mantenimientos preventivos (limpieza de las lámparas).	

4.2. Control y calidad de las instalaciones de iluminación

Evaluación de las instalaciones de iluminación

Área	Cuarto de frío	Cuarto de máquinas	Bodega de balanceado	Cuarto de máquina	Sala de ordeño	Patio de espera
Parámetros						
Niveles de iluminación	Inadecuados	Inadecuados	Inadecuados	Inadecuados	Inadecuados	Inadecuados
Índice de uniformidad	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Probables deficiencias	Distribución incorrecta del alumbrado	Distribución incorrecta del alumbrado	Distribución incorrecta del alumbrado	Distribución incorrecta del alumbrado	Distribución incorrecta del alumbrado	Distribución incorrecta del alumbrado
	Inexistencia de mantenimiento preventivo	Inexistencia de mantenimiento preventivo	Inexistencia de mantenimiento preventivo	Inexistencia de mantenimiento preventivo	Inexistencia de mantenimiento preventivo	Inexistencia de mantenimiento preventivo
	Instalación del alumbrado a diferente altura	–	–	–	–	–

Área Parámetros	Cuarto de frío	Cuarto de máquinas	Bodega de balanceado	Cuarto de máquina	Sala de ordeño	Patio de espera
Temperatura de color	Luz fría	Luz cálida	Luz fría	Luz fría	Luz fría	Luz cálida
Sistema de control	Dispone de un circuito on/off individual					

4.3. Mantenimiento de las instalaciones lumínicas

- Plan de mantenimiento

- Se efectúan únicamente mantenimientos correctivos.
- La industria dispone de un plan de mantenimiento.
- Considera la limpieza de luminarias y lámparas en el tiempo establecido.

- Limpieza de luminarias y lámparas

- Nunca se ha realizado la limpieza.
- La limpieza se realiza mensualmente.
- Se desarrolla la limpieza anualmente.

- Cambio de lámparas

- Se cambian únicamente al sufrir averías.
- La sustitución es cada ____ años.

5. Motores eléctricos

5.1. Inventario sobre motores eléctricos

Ubicación	Cuarto de frío	
Marca y modelo	SIREM – R1C 225 D1BC	
Aplicación	Agitador de leche	
Tiempo diario de uso (h)	4,5	
Características eléctricas	Tipo de suministro	Monofásico
	Voltaje (V)	240
	Corriente (A)	0,35
	Factor de potencia (cos ϕ)	0,80
	Potencia (kW)	0,07
Características mecánicas	Velocidad (rpm)	38
Forma de arranque/paro	Automático	
Medición de voltaje (V)	236,45 \pm 0,11%	
Medición de corriente (A)	0,3	
¿Existen ruidos inusuales o vibraciones excesivas?	No	
¿Dispone de variador de velocidad?	No	

Ubicación	Cuarto de máquinas	
Marca y modelo	US Motors – F078	
Aplicación	Sistema de ordeño fijo	
Tiempo diario de uso (h)	4,5	
Características eléctricas	Tipo de suministro	Monofásico
	Voltaje (V)	230
	Corriente (A)	22
Características mecánicas	Potencia (kW/HP)	3,7/5
	Velocidad (rpm)	1.740
Forma de arranque/paro	Manual	
Medición de voltaje (V)	239 ± 1,5%	
Medición de corriente (A)	24,5 ± 4,0%	
¿Existen ruidos inusuales o vibraciones excesivas?	No	
¿Dispone de variador de velocidad?	No	

Ubicación	Cuarto de máquinas	
Marca y modelo	Weq – W22	
Aplicación	Sistema de ordeño fijo	
Tiempo diario de uso (h)	5*	
Características eléctricas	Tipo de suministro	Monofásico
	Voltaje (V)	220
	Corriente (A)	19
Características mecánicas	Potencia (kW/HP)	3/4
	Velocidad (rpm)	1.745
Forma de arranque/paro	Manual	
Medición de voltaje (V)	239 ± 0,42%	
Medición de corriente (A)	18,9 ± 1,59%	
¿Existen ruidos inusuales o vibraciones excesivas?	No	
¿Dispone de variador de velocidad?	No	

*Usado como respaldo

Ubicación	Cuarto de máquina	
Marca y modelo	WorldWide Electric – TJ1-36-56CB-NOL	
Aplicación	Bombeo de leche	
Tiempo diario de uso (h)	0,25	
Características eléctricas	Tipo de suministro	Monofásico
	Voltaje (V)	230
	Corriente (A)	4,86
Características mecánicas	Potencia (kW/HP)	0,7/1
	Velocidad (rpm)	3.450
Forma de arranque/paro	Automático	
Medición de voltaje (V)	233,9 ± 0,04%	
Medición de corriente (A)	4,4 ± 2,00%	
¿Existen ruidos inusuales o vibraciones excesivas?	No	
¿Dispone de variador de velocidad?	No	

6. Otros equipos

6.1. Características de los otros equipos

Ubicación	Cuarto de máquinas	
Equipo	Motor de combustión interna	
Marca y modelo	Briggs & Stratton – 243431	
Tipo de motor	Monocilíndrico a gasolina	
Aplicación	Respaldo a gasolina para el funcionamiento del sistema de ordeño fijo	
Tiempo anual de uso (h)	7,5	
Características mecánicas	Potencia (HP/rpm)	10/3.600
	Torque (ft·lb/rpm)	16,75/2.400
¿Existen ruidos inusuales o vibraciones excesivas?	No	
¿La máquina presenta fugas de combustible?	No	

Ubicación	Pozo de agua a 38 m del establo	
Equipo	Electrobomba autocebante tipo JET	
Marca y modelo	Pedrollo – JSWm 10M	
Aplicación	Bombeo de agua	
Tiempo diario de uso (h)	0,5	
Características eléctricas	Tipo de suministro	Monofásico
	Voltaje (V)	110
	Corriente (A)	10
	Potencia (kW)	1,02
Características mecánicas	Potencia (kW/HP)	0,75/1
	Velocidad (rpm)	3.450
Medición de voltaje (V)	114,45 ± 1,62%	
Medición de corriente (A)	7,70 ± 2,60%	
¿Dispone de variador de velocidad?	No	

Ubicación	Pozo de agua a 125 m del establo	
Equipo	Electrobomba autocebante tipo JET	
Marca y modelo	Foras – JA 100M	
Aplicación	Sistema de bombeo de agua	
Tiempo diario de uso (h)	3	
Características eléctricas	Tipo de suministro	Monofásico
	Voltaje (V)	110
	Corriente (A)	11
	Potencia (kW)	1,10
Características mecánicas	Potencia (kW/HP)	0,74/1
	Velocidad (rpm)	3.400
Medición de voltaje (V)	117,80 ± 0,08%	
Medición de corriente (A)	9,88 ± 0,20%	
¿Dispone de variador de velocidad?	No	

Ubicación	Cuarto de frío
Equipo	Tanque de enfriamiento para leche
Marca y modelo	Alfa Laval
Tiempo diario de uso (h)	4
Capacidad (l)	1.000
Tipo de suministro	Monofásico
Voltaje (V)	220
Potencia (W)	2.810
Tipo de refrigerante	R22
Número de ordeños diarios	2
Temperatura de enfriamiento del tanque (°C)	4
Medición de voltaje (V)	236,65 ± 0,11%
Medición de corriente (A)	11,6 ± 1,31%
¿El tanque de enfriamiento se encuentra sobredimensionado (volumen excesivo sobre la leche entregada)?	No
¿El ventilador presenta ruidos inusuales?	No

7. Equipamiento de agua caliente

7.1. Características generales del equipamiento de agua caliente

- ¿La finca cuenta con algún aparato para el calentamiento del agua? Si
- ¿Qué tipo de equipo dispone para calentar el agua?
 - Cocina industrial a gas. Número de cilindros de gas utilizados: 4 de 15 kg al mes.
 - Cocina de inducción.
 - Calefón:
 - Caldera. Combustible empleado:
 - Calentadores solares de agua.
- Demanda de agua caliente a cubrir: 90 l/día a 75 °C
- Servicios atendidos por el equipamiento
 - Aseo del personal
 - Limpieza de los equipos y del sistema de ordeño.
 - Otros:

7.2. Mantenimiento del sistema

- Operaciones de mantenimiento periódicas a la instalación
 - No realizan ningún mantenimiento.
 - Únicamente se realizan las revisiones básicas.
 - Existe un contrato de mantenimiento completo.

7.3. Calidad

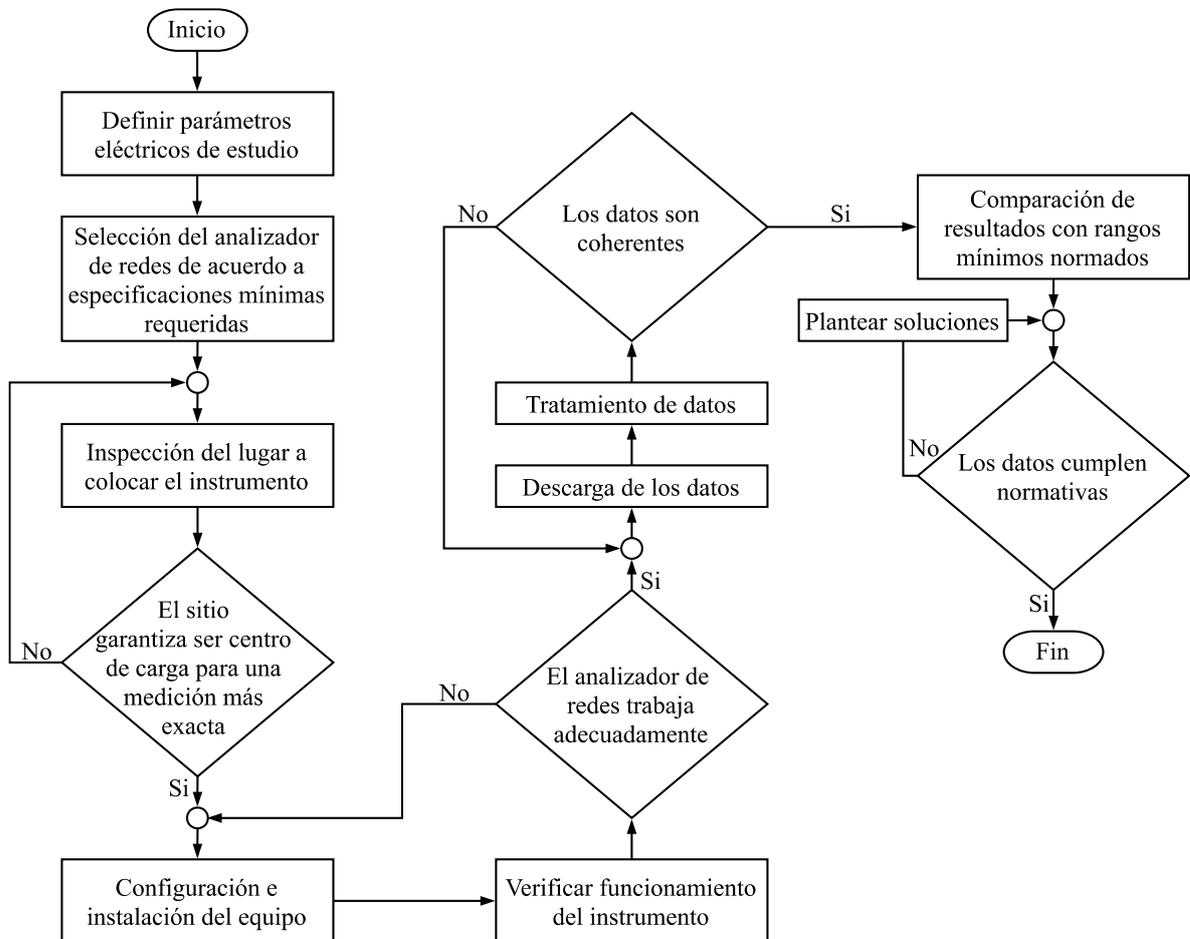
- La temperatura en general es:

✓	Adecuada.
	Alta.
	Baja.

- Observaciones sobre el sistema de calentamiento de agua: Existe un empleo ineficaz de la energía calorífica, ya que la eficiencia de una cocina industrial a gas es del 40% frente al 70% de un colector solar de tubos de vacío.

De manera que se recomienda para una futura investigación, el dimensionamiento de un calentador solar de agua por su mayor eficiencia y contribución al medio ambiente.

Anexo 2. Metodología para la obtención de parámetros eléctricos mediante el analizador de redes.



Etapa 1: Parámetros eléctricos de estudio

Conforme la regulación No. ARCERNNR 002/20 y pliego tarifario 2021 se analiza los siguientes parámetros eléctricos [75], [103], [104]:

- Voltaje fase – fase y fase – neutro.
- Corrientes de fase.
- Potencia activa, reactiva y aparente.
- Factor de potencia.
- Energía.
- Distorsión armónica de corriente y de voltaje.
- Flicker.

Etapa 2: Selección del analizador de redes

La siguiente tabla muestran ciertas prestaciones del analizador de redes Fluke 434-II y 435-II, necesarias para el presente informe investigativo [96].

Debido a que la categoría S posee menor confiabilidad en sus mediciones se elige el modelo 435 serie II por tener una precisión clase A, la cual permite obtener resultados con mayor exactitud para verificar el cumplimiento de las normativas [105], [106], [107].

Analizador de redes		
Especificaciones	Fluke 434-II	Fluke 435-II
Conformidad con la norma IEC 61000-4-30	Clase S	Clase A
Categoría de seguridad: CAT III 1000 V, CAT IV 600 V	•	•
Voltios, Amperios, Hz	•	•
Armónicos	•	•
Potencia y Energía	•	•
Registro y almacenamiento de datos	•	•
Software Power Log	•	•
Monitor	•	•
Flicker		•
Captura de forma de onda de evento		•
Onda de potencia		•

Etapa 3: Configuración e instalación del equipo

Las mediciones de voltaje, corriente, potencias, factor de potencia, energía y armónicos de la finca "La Cordillera", fueron realizadas cada 5 minutos a través del analizador de redes durante un período comprendido entre el 27/03/2021 al 02/04/2021, conforme al proceso establecido en la Regulación No. ARCERNNR 002/20 [75].

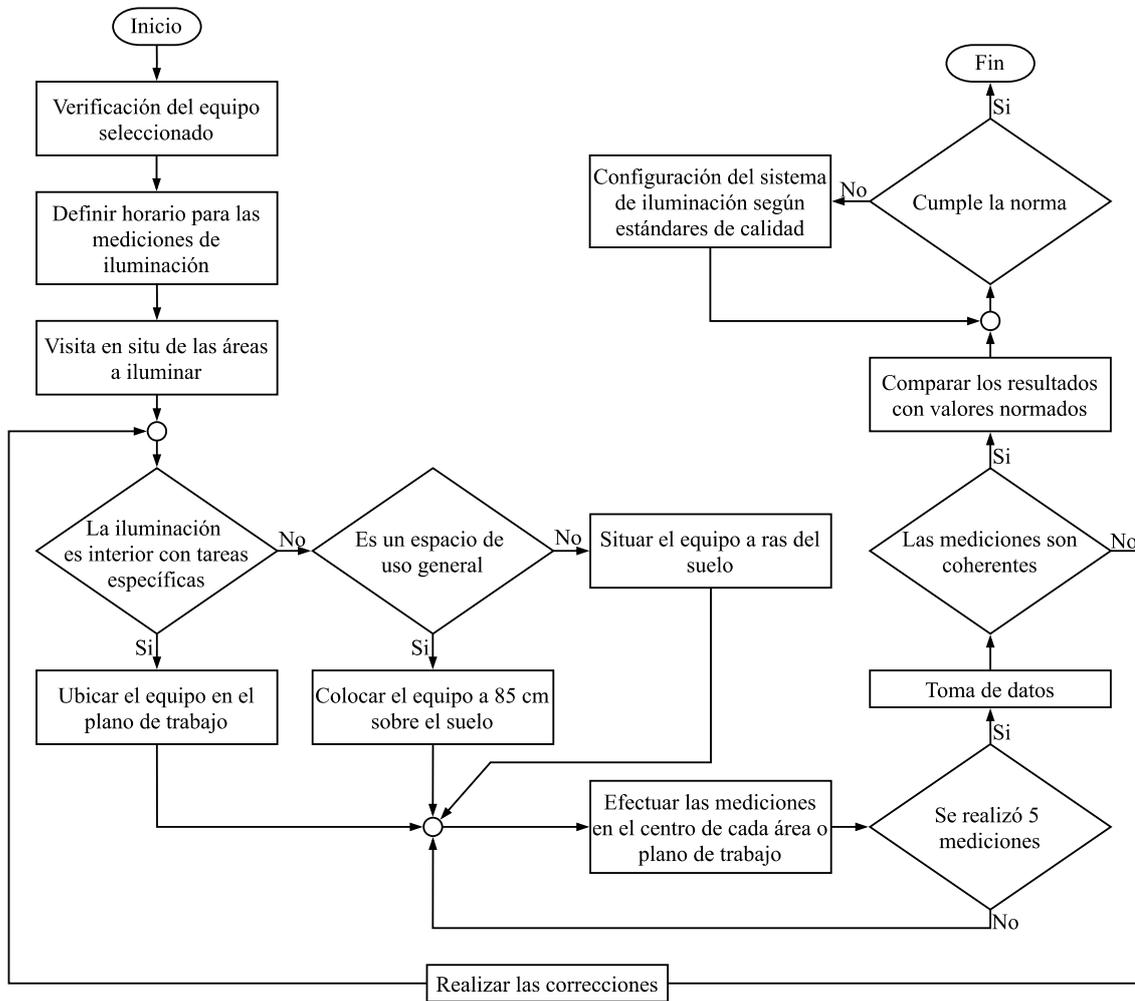
El instrumento fue ubicado en el tablero principal de la acometida por ser un lugar cercano al punto de entrega, configurado para un sistema monofásico trifilar (figura 24) [75].

Etapa 4: Descarga de datos

Con la ayuda del software Power Log fue posible descargar la información almacenada en la tarjeta SD para posteriormente exportar los datos a Excel.

Fuente: Autores.

Anexo 3. Metodología para la medición de la iluminación.



Etapa 1: Selección del luxómetro

Con la finalidad de seleccionar el luxómetro adecuado según los requerimientos del estudio, se considera como parámetros mínimos el rango de medición entre 0,5 hasta 500 lux, una resolución mejor o igual a 0,1 lux, precisión superior o equivalente al 5% [100], [113]. Adicionalmente, la elección consiste en el registro de datos del medidor y software para el almacenamiento de información [100].

Conforme la siguiente tabla, se deduce que los equipos de medición de iluminación adecuados para el análisis corresponden al luxómetro Digi-Sense 20250-00 y Sekonic SpectroMaster C-

800, por cumplir con las características clave, lo cual, garantiza un error mínimo durante la toma de datos de la iluminancia junto a una alta resolución de 0,01 lux [100], [111], [112].

Luxómetros			
Característica	REED R8150	Digi-Sense 20250-00	Sekonic SpectroMaster C-800
Registro de datos	No	99 mediciones	99 mediciones
Software de registro y almacenamiento de datos	No	Si	Si
Precisión	± 5%	± 3%	± 5%
Rango de medición	0 – 50 kLux	0 – 400 kLux	1 lux – 200 kLux
Resolución	0,1 lux	0,01 lux	0,01 lux

Al considerar el valor económico de los equipos de medición de la tabla mostrada a continuación, se procede a seleccionar el luxómetro Digi-Sense 20250-00, el cual, cumple con los criterios técnicos mínimos y dispone de un bajo costo.

Costo de luxómetros		
Descripción	Digi-Sense 20250-00	Sekonic SpectroMaster C-800
Costo	\$ 280,64	\$ 2.342,73

Fuente: Autores.

Anexo 4. Medición de los actuales niveles iluminación en la finca “La Cordillera”.

Área: Patio de espera		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Lunes	1	12,4	13,0	13,5
	2	12,7	12,9	13,1
	3	12,9	13,2	13,5
Promedio diario		12,7	13,0	13,4
Martes	1	13,0	13,2	13,4
	2	12,4	13,1	13,7
	3	13,2	13,6	13,9
Promedio diario		12,9	13,3	13,7
Miércoles	1	13,2	13,5	13,7
	2	12,8	13,2	13,5
	3	12,8	13,2	13,6
Promedio diario		12,9	13,3	13,6
Jueves	1	12,6	13,0	13,4
	2	13,3	13,6	13,9
	3	13,0	13,4	13,8
Promedio diario		13,0	13,3	13,7
Viernes	1	12,8	13,2	13,6
	2	12,6	13,2	13,7
	3	13,6	13,8	14,0
Promedio diario		13,0	13,4	13,8
Promedio General		12,9	13,3	13,6
Observación: Entre los diferentes días medidos no existe una variación significativa en los niveles de iluminación.				

Área: Sala de ordeño		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Lunes	1	31,8	33,5	35,2
	2	36,2	36,7	37,1
	3	35,0	35,2	35,4
	4	33,8	34,4	34,9
	5	32,1	32,8	33,5
	6	34,5	35,0	35,4
	7	36,4	37,0	37,6
	8	35,9	36,3	36,7
	9	37,4	37,9	38,4
Promedio diario		34,8	35,4	36,0
Martes	1	34,0	35,1	36,2
	2	36,4	36,5	36,5
	3	36,4	36,9	37,3
	4	33,3	33,9	34,4
	5	36,9	37,1	37,3
	6	36,0	36,7	37,3
	7	33,8	35,3	36,7
	8	36,9	37,5	38,0
	9	38,3	38,8	39,2
Promedio diario		35,8	36,4	37,0
Miércoles	1	36,5	36,7	36,9
	2	34,6	34,9	35,1
	3	34,6	34,8	34,9
	4	35,5	36,1	36,7
	5	29,2	29,7	30,2
	6	34,6	35,1	35,5
	7	35,6	36,4	37,1
	8	36,0	36,9	37,8
	9	36,9	37,2	37,4
Promedio diario		34,8	35,3	35,7
Jueves	1	35,3	35,4	35,5
	2	36,4	36,9	37,3
	3	34,2	34,9	35,5
	4	33,3	34,1	34,9
	5	35,6	35,9	36,2
	6	34,9	35,6	36,2
	7	36,9	37,3	37,6
	8	34,7	36,2	37,6
	9	32,2	34,2	36,2
Promedio diario		34,8	35,6	36,3
Viernes	1	35,3	35,8	36,2
	2	34,4	34,8	35,1
	3	35,6	36,1	36,5
	4	32,9	33,8	34,6
	5	38,0	38,6	39,1
	6	35,1	35,4	35,6
	7	36,2	36,6	36,9
	8	36,4	36,8	37,1
	9	35,1	35,7	36,2
Promedio diario		35,4	36,0	36,4
Promedio General		35,1	35,7	36,3
Observación: Entre los diferentes días medidos no existe una variación relevante en los niveles de iluminación.				

Área: Cuarto de frío		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Lunes	1	45,9	46,4	46,8
	2	43,8	45,5	47,1
	3	43,7	44,2	44,6
	4	46,8	47,3	47,8
	5	44,7	46,4	48,1
	6	44,6	45,1	45,5
Promedio diario		44,9	45,8	46,7
Martes	1	44,9	45,8	46,7
	2	45,6	46,3	46,9
	3	43,1	44,4	45,6
	4	45,4	46,3	47,2
	5	46,1	46,8	47,4
	6	43,5	44,8	46,1
Promedio diario		44,8	45,7	46,7
Miércoles	1	42,9	43,9	44,9
	2	43,1	45,3	47,4
	3	43,8	44,7	45,5
	4	44,2	45,3	46,3
	5	44,4	46,7	48,9
	6	45,2	46,1	46,9
Promedio diario		43,9	45,3	46,7
Jueves	1	45,9	46,4	46,9
	2	43,7	45,4	47,1
	3	43,7	44,2	44,6
	4	47,3	47,8	48,3
	5	45,1	46,9	48,6
	6	45,0	45,5	46,0
Promedio diario		45,1	46,0	46,9
Viernes	1	45,8	46,7	47,6
	2	46,5	47,2	47,8
	3	43,8	45,2	46,5
	4	47,2	48,2	49,1
	5	47,9	48,6	49,3
	6	45,2	46,6	47,9
Promedio diario		46,1	47,1	48,0
Promedio General		45,0	46,0	47,0
Observación: Entre los diferentes días medidos no existe una variación significativa en los niveles de iluminación.				

Área: Bodega de balanceado		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Lunes	1	80,9	81,6	82,2
	2	84,3	84,9	85,5
	3	80,0	81,1	82,2
Promedio diario		81,7	82,5	83,3

Área: Bodega de balanceado		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Martes	1	79,8	81,3	82,7
	2	82,9	83,7	84,5
	3	81,2	81,9	82,6
Promedio diario		81,3	82,3	83,3
Miércoles	1	80,2	81,5	82,7
	2	79,1	80,3	81,4
	3	82,5	82,9	83,2
Promedio diario		80,6	81,6	82,4
Jueves	1	82,9	83,6	84,2
	2	80,5	81,6	82,6
	3	82,1	82,9	83,7
Promedio diario		81,8	82,7	83,5
Viernes	1	80,6	81,9	83,1
	2	79,5	80,7	81,8
	3	82,9	83,3	83,6
Promedio diario		81,0	82,0	82,8
Promedio General		81,3	82,2	83,1
Observación: Entre los diferentes días medidos no existe una variación significativa en los niveles de iluminación.				

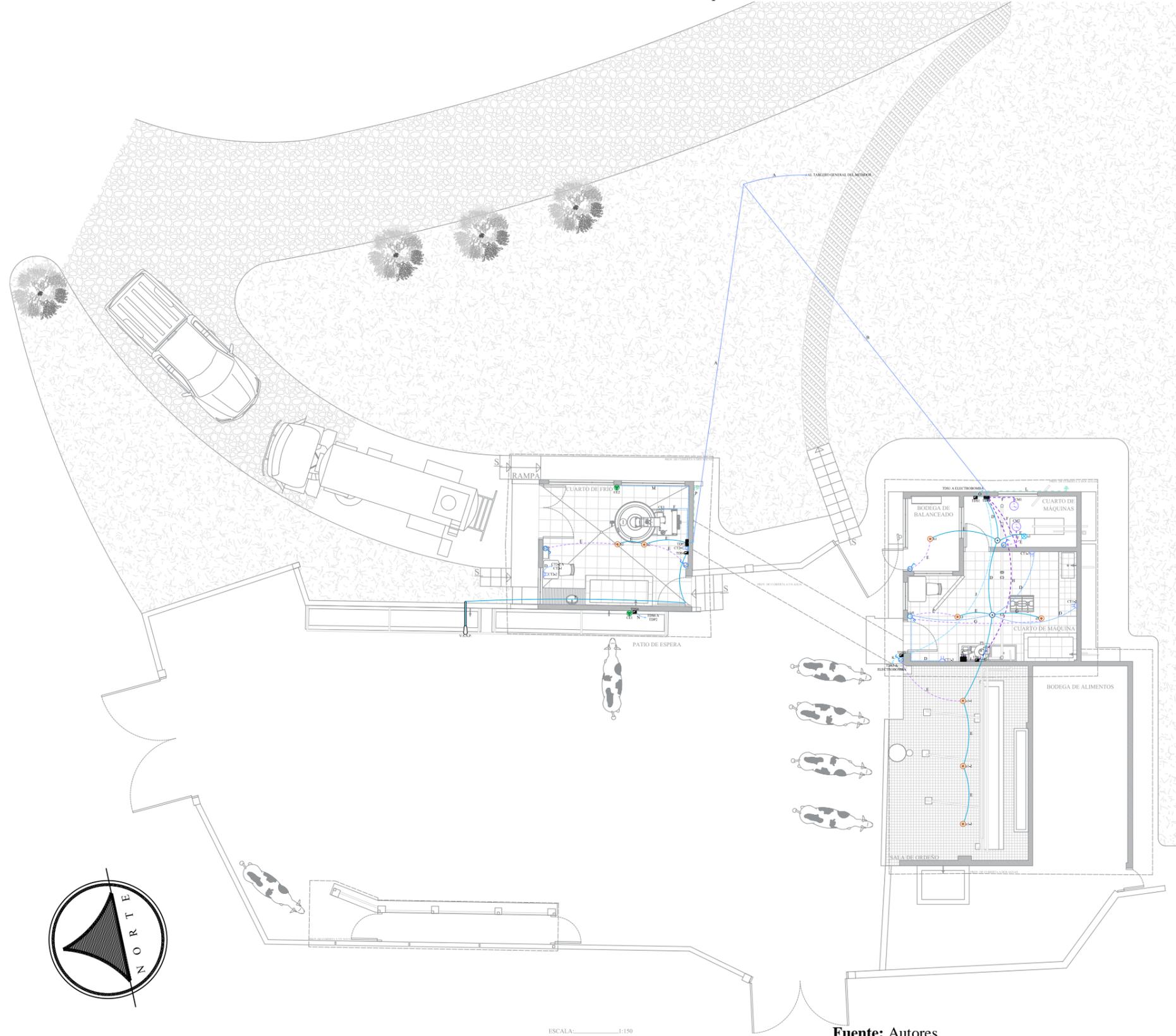
Área: Cuarto de Máquina		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Lunes	1	66,8	67,8	68,7
	2	58,5	63,8	69,0
	3	56,1	71,4	86,7
	4	50,2	50,7	51,2
	5	29,4	39,5	49,5
	6	25,3	41,2	57,0
Promedio diario		47,7	55,7	63,7
Martes	1	37,4	38,5	39,6
	2	76,3	75,4	74,5
	3	76,5	77,5	78,5
	4	51,3	51,7	52,0
	5	34,9	35,4	35,9
	6	64,8	66,3	67,8
Promedio diario		56,9	57,5	58,1
Miércoles	1	73,6	74,8	76,0
	2	72,8	74,1	75,4
	3	71,4	71,8	72,2
	4	33,4	33,8	34,1
	5	44,5	45,1	45,6
	6	47,5	47,8	48,0
Promedio diario		57,2	57,9	58,6

Área: Cuarto de Máquina		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Jueves	1	66,1	67,1	68,0
	2	57,9	63,1	68,3
	3	55,5	70,7	85,8
	4	49,7	50,2	50,7
	5	29,1	39,1	49,0
	6	25,0	40,7	56,4
Promedio diario		47,2	55,2	63,0
Viernes	1	37,0	38,1	39,2
	2	75,5	74,7	73,8
	3	75,7	76,7	77,7
	4	50,8	51,2	51,5
	5	34,6	35,1	35,5
	6	64,2	65,7	67,1
Promedio diario		56,3	56,9	57,5
Promedio General		53,1	56,6	60,2
Observación: Entre los diferentes días medidos no existe una variación significativa en los niveles de iluminación.				

Área: Cuarto de máquinas		Horario: 03:30 - 05:00 am		
Día	Punto de medición	Iluminación (lx)		
		Mínima	Promedio	Máxima
Lunes	1	95,5	96,0	96,4
	2	97,5	98,1	98,6
	3	92,2	93,1	93,9
Promedio diario		95,1	95,7	96,3
Martes	1	93,6	94,6	95,6
	2	97,4	97,6	97,7
	3	98,1	98,4	98,7
Promedio diario		96,4	96,9	97,3
Miércoles	1	90,5	92,8	95,1
	2	93,8	95,2	96,6
	3	96,8	97,0	97,1
Promedio diario		93,7	95,0	96,3
Jueves	1	95,9	96,1	96,3
	2	95,7	96,1	96,4
	3	95,8	96,2	96,6
Promedio diario		95,8	96,1	96,4
Viernes	1	94,5	95,0	95,4
	2	96,5	97,1	97,6
	3	91,3	92,2	93,0
Promedio diario		94,1	94,8	95,3
Promedio General		95,0	95,7	96,3
Observación: Entre los diferentes días medidos no existe una variación significativa en los niveles de iluminación.				

Fuente: Autores.

Anexo 5. Esquema de distribución eléctrica de la industria láctea “La Cordillera”.



Fuente: Autores.

SIMBOLOGÍA

	INTERRUPTOR SIMPLE		INTERRUPTOR DOBLE
	LÁMPARA LED DE 9 W		TOMA ESPECIAL 240 V
	LÁMPARA INCANDESCENTE DE 110 W		TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO
	LUMINARIA DE SODIO DE ALTA PRESIÓN DE 70 W		CAJA DE CONEXIÓN
	TOMACORRIENTE DOBLE		MOTOR MONOFÁSICO
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL		PUESTA A TIERRA (VARILLA Cu 5/8"-1,8m)
	TABLERO DE CONTROL		CIRCUITO DE ILUMINACIÓN
	CIRCUITO DE TOMACORRIENTES		CIRCUITO DE INTERRUPTORES
	CIRCUITO DE MOTORES		CIRCUITO DE ELECTROBOMBAS

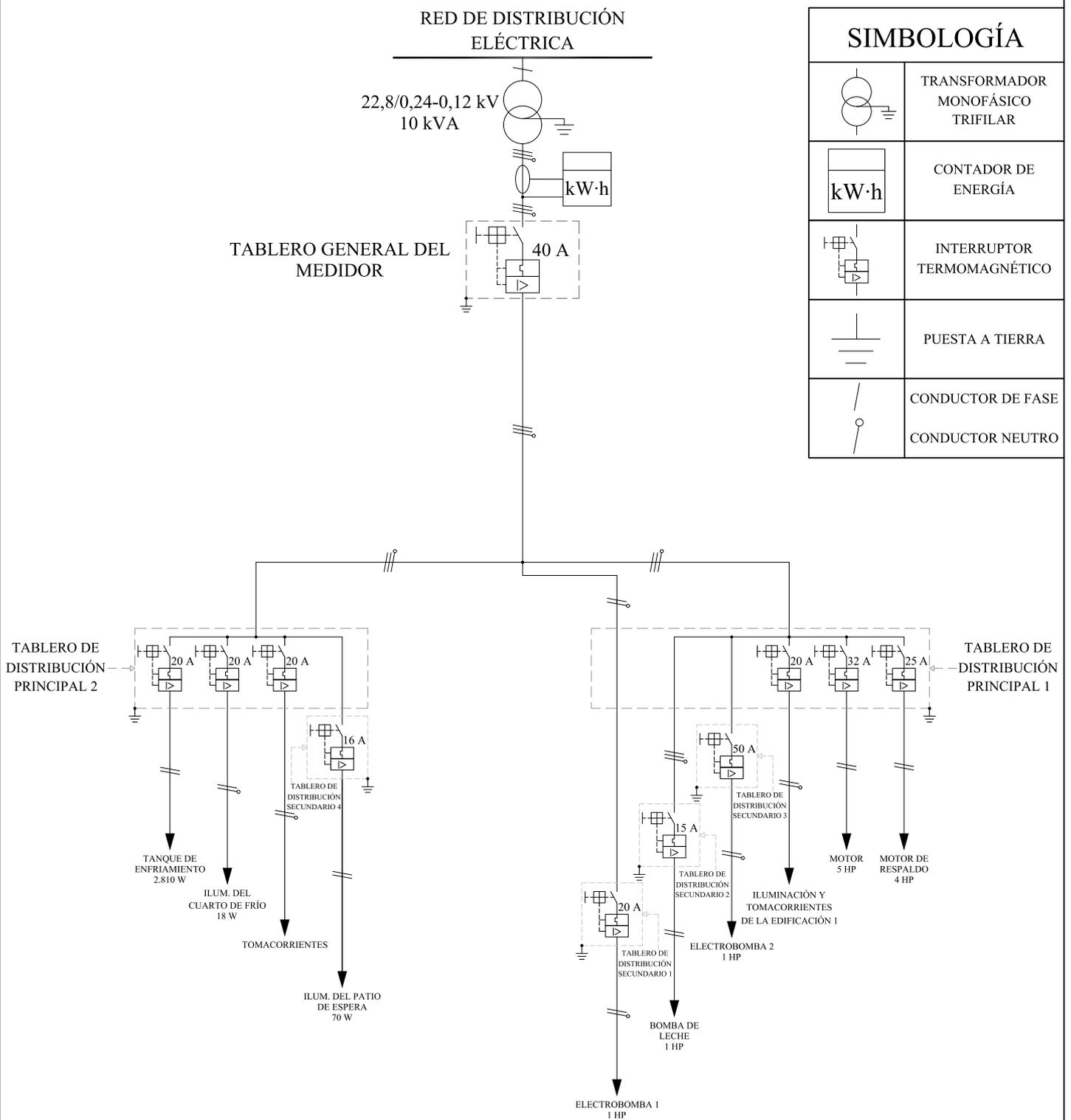
NOMENCLATURA

A = 3 × 6 Cu XLPE	I = 1/2" 6 × 14 Cu THHN/THWM
B = 2 × 4 + 3 × 6 AI XLPE	J = 3/4" 2 × 6 AI TW
C = 3 × 10 Cu THHN/THWM	K = 3/4" 2 × 10 Cu SPT
D = 1/2" 3 × 10 Cu THHN/THWM	L = 2 × 6 Cu XLPE
E = 1/2" 2 × 14 Cu THHN/THWM	M = 3/4" 6 × 12 Cu THHN/THWM
F = 3/4" 3 × 8 Cu THHN/THWM	N = 3 × 8 AI TW
G = 1/2" 1 × 14 Cu THHN/THWM	O = 1" 2 × 4 AI TW
H = 1" 2 × 6 AI TW + 1 × 6 AI DESNUDO	P = 2 × 8 Cu XLPE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA – ECUADOR

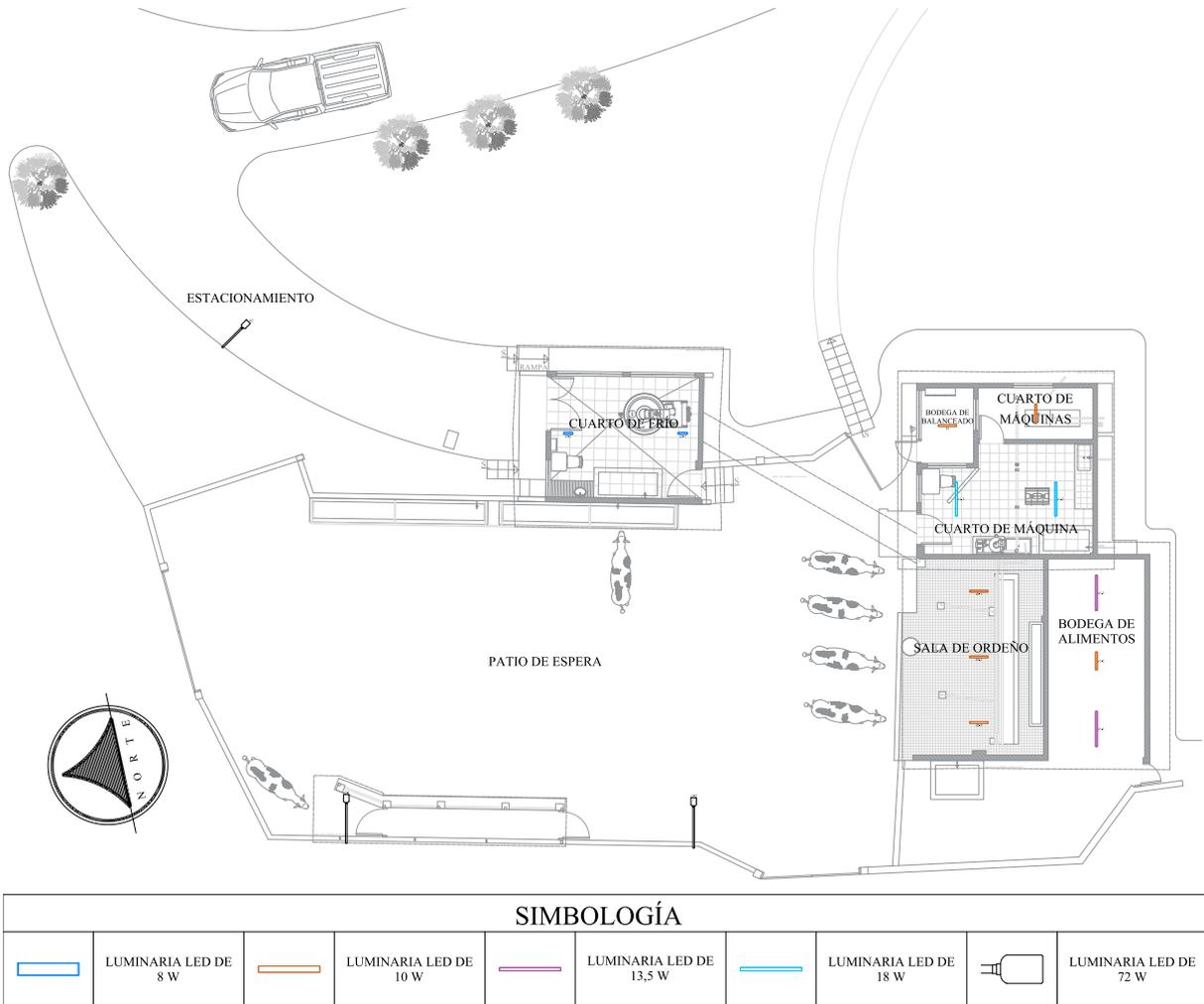
DIRECCIÓN DE POSGRADOS	ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA		
CICLO ACADÉMICO: MARZO – NOVIEMBRE 2021			
TUTOR: MSc. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO			
C.C. TUTOR: 050265642-4			
AUTORES: - JIMÉNEZ JIMÉNEZ DIEGO DAVID - POTES VALENCIA PAÚL WLADIMIR	COHORTE: II 2019	MAESTRÍA: ELECTRICIDAD MENCIÓN SEP	ESCALA: 1:150
	PERÍODO: IV	LÁMINA No. A3/1	PROPIETARIO:
	PARALELO: ÚNICO	HOJA: 1	DE: 1

Anexo 6. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera”.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI		AUTORES:	COHORTE:
LATACUNGA – ECUADOR		- JIMÉNEZ JIMÉNEZ DIEGO DAVID	II 2019
DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ACTUAL		- POTES VALENCIA PAÚL WLADIMIR	PERÍODO:
			IV
DIRECCIÓN DE POSGRADOS			PARALELO:
CICLO ACADÉMICO:			ÚNICO
MARZO – NOVIEMBRE 2021			
TUTOR:		MAESTRÍA:	
MSc. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO		ELECTRICIDAD MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE P.	
C.C. TUTOR:		LÁMINA No.	PROPIETARIO:
050265642-4		A4/1	
		HOJA:	
		1	
		DE:	
		1	

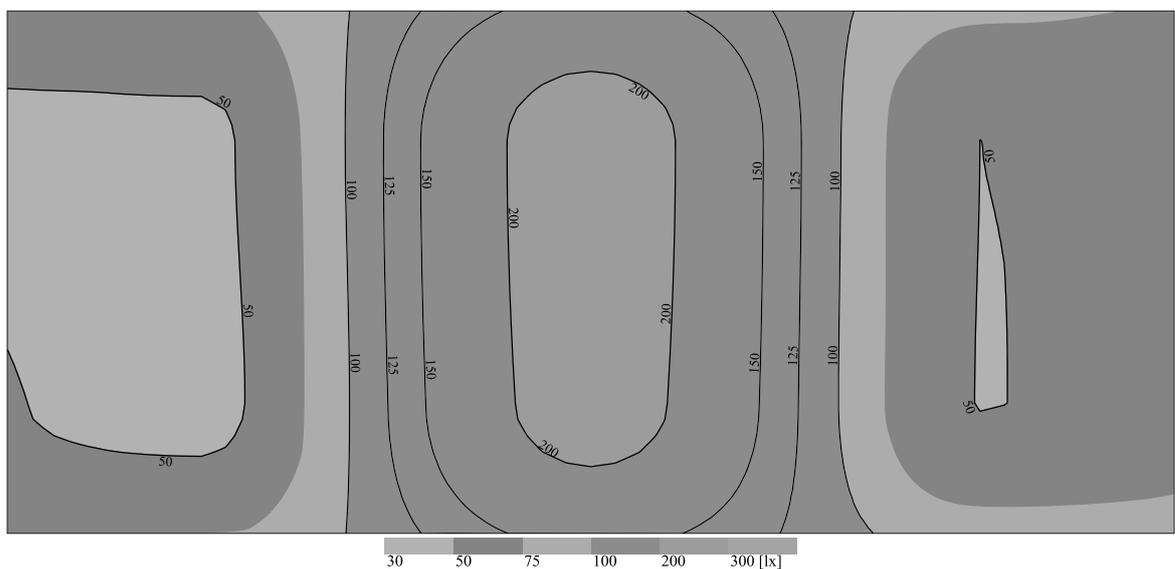
Anexo 7. Distribución de las luminarias LED propuestas en la finca “La Cordillera”.



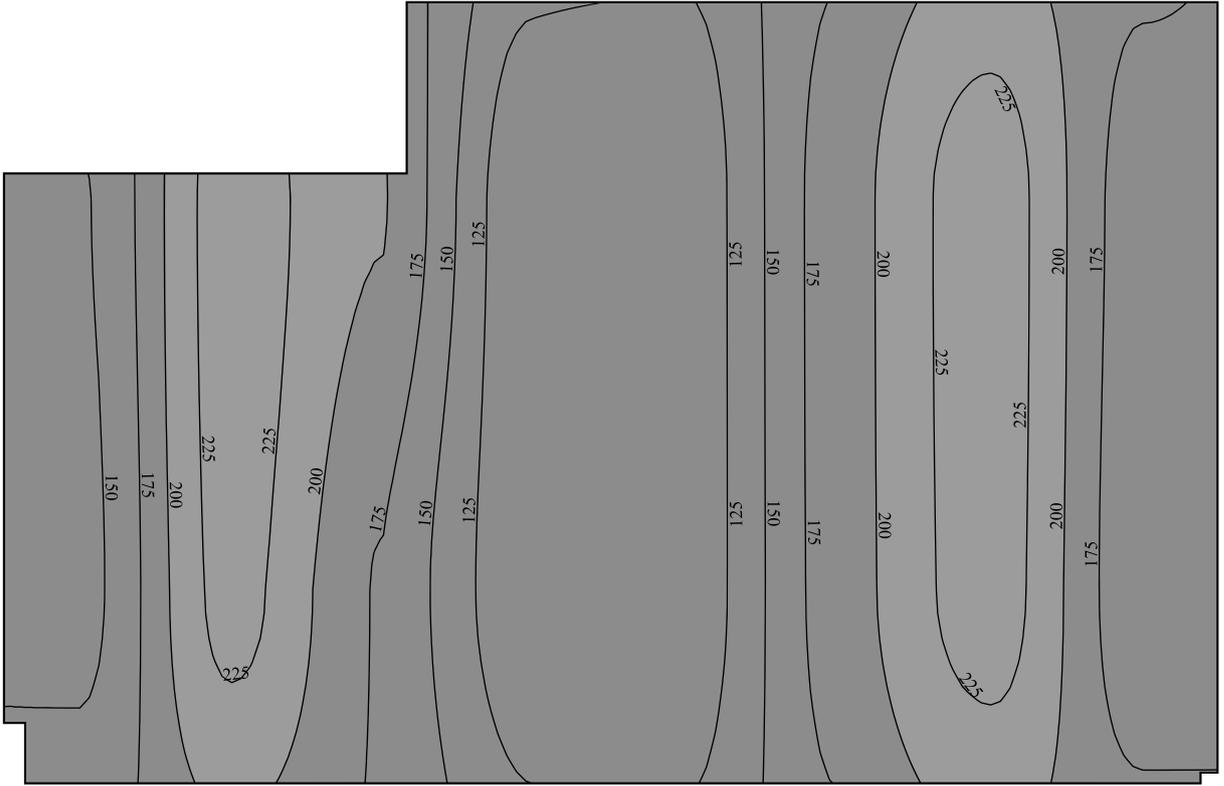
Fuente: Autores.

Anexo 8. Isolíneas y colores falsos de las diferentes áreas de la finca “La Cordillera”.

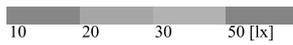
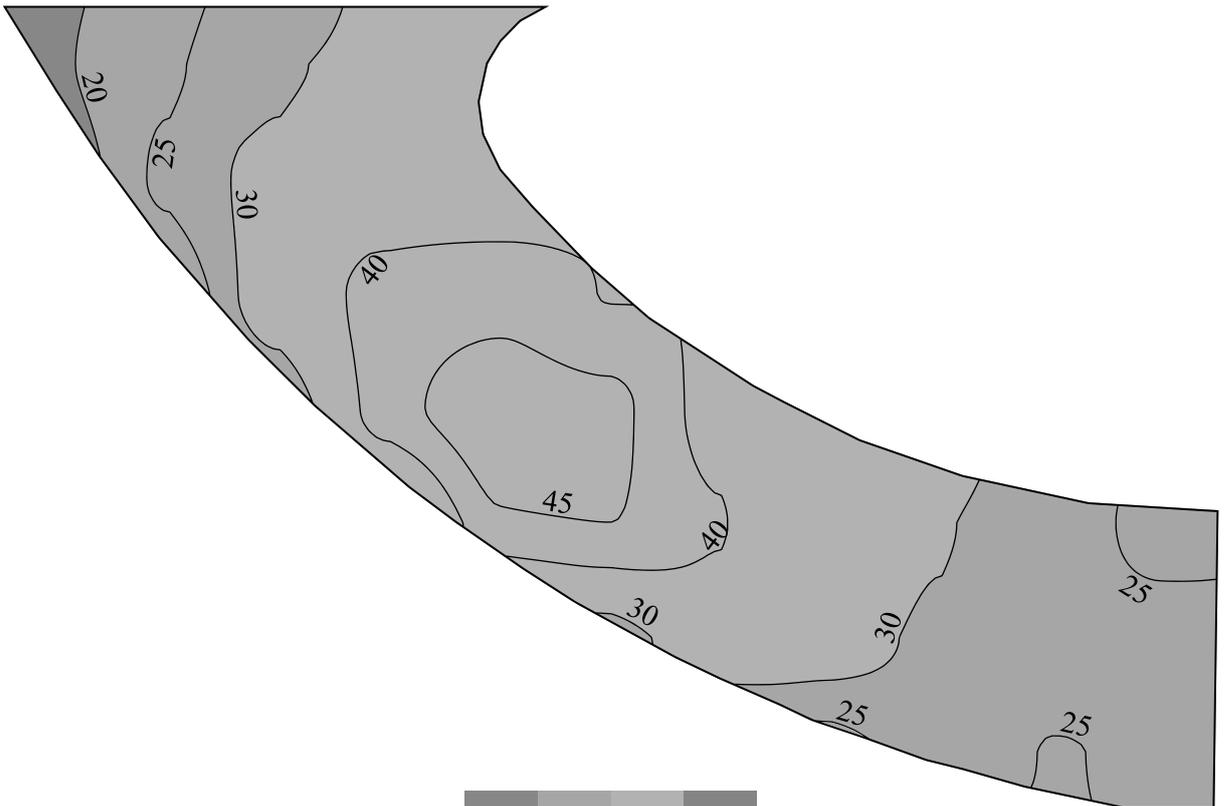
Cuarto de máquinas



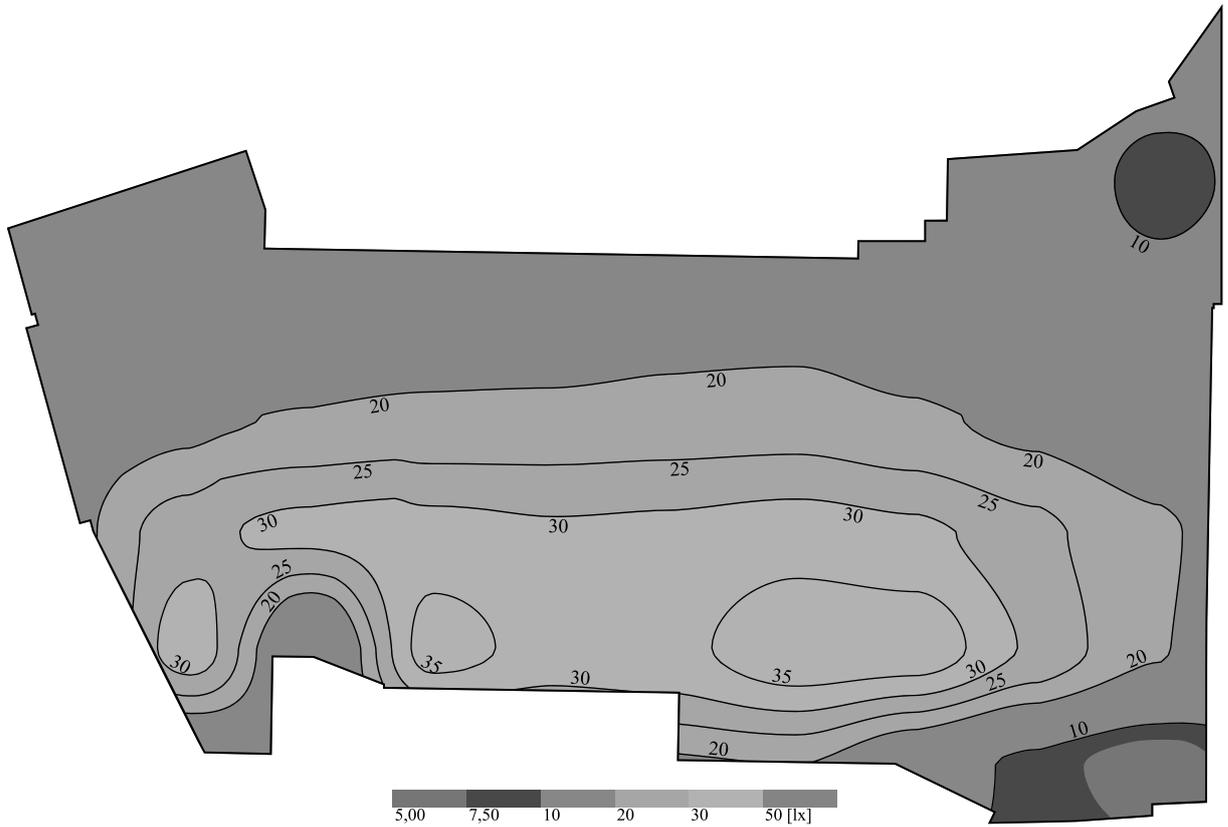
Cuarto de máquina



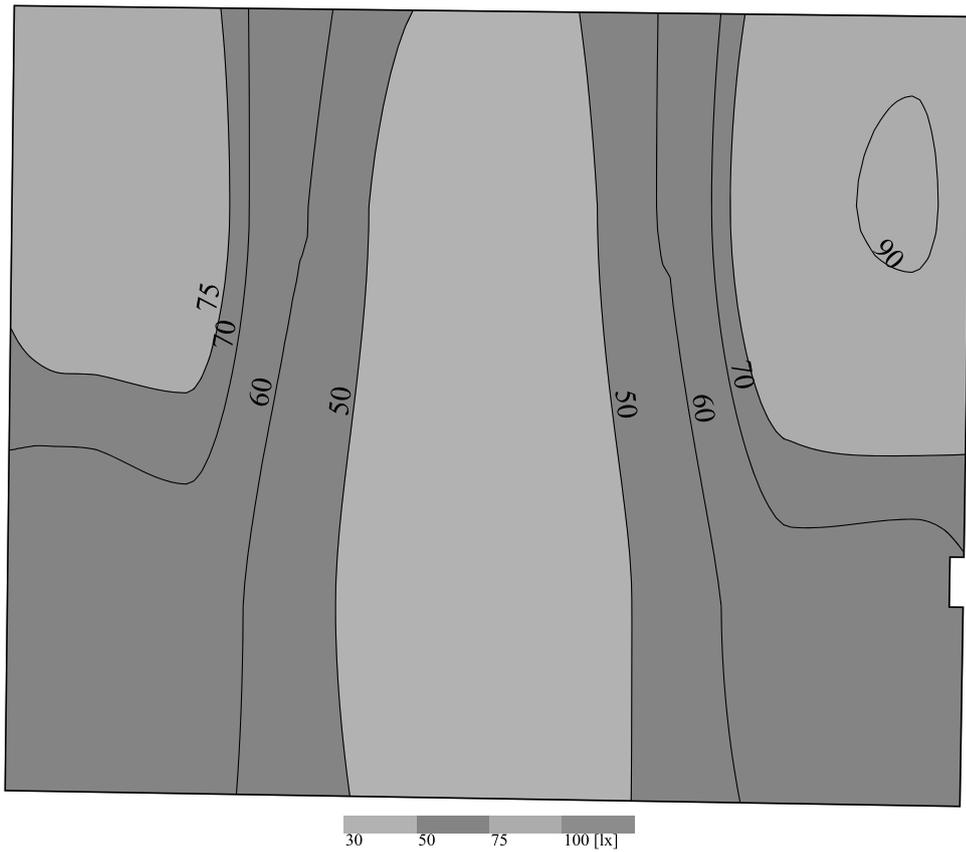
Estacionamiento



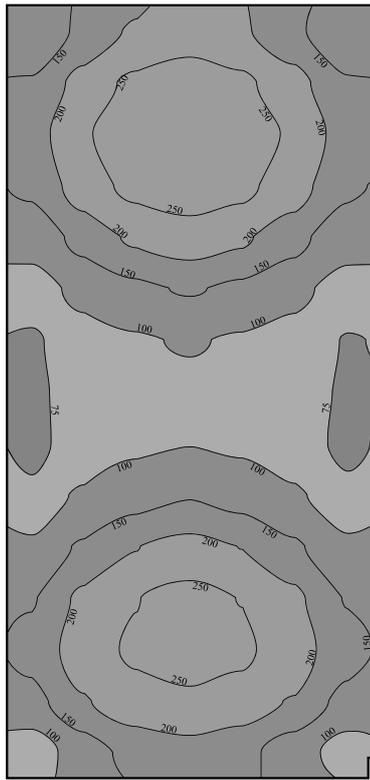
Patio de espera



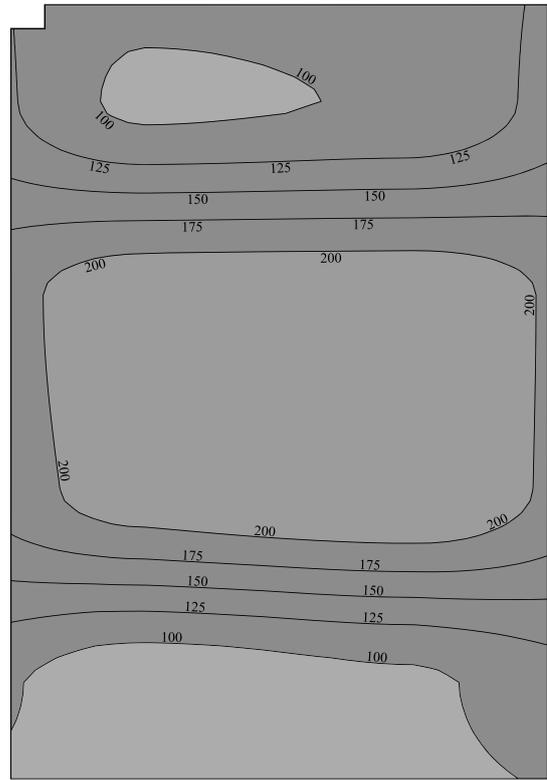
Cuarto de frío



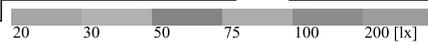
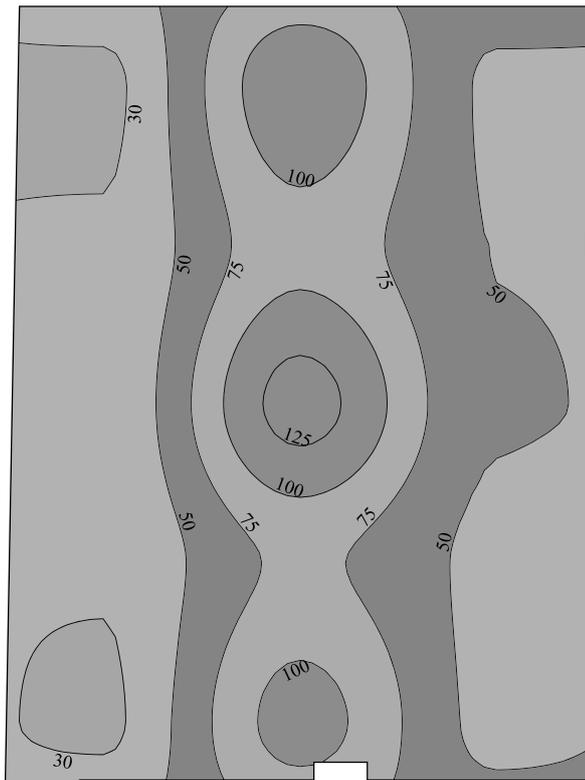
Bodega de alimentos



Bodega de balanceado



Sala de ordeño



Fuente: Autores.

Anexo 9. Cables THHN 600 V 90 °C.

CONDUCTORES DE COBRE

THHN

Conductor de cobre para 0,6 kV aislado con policloruro de vinilo (PVC) 90°C, y chaqueta de poliamida (nylon), resistente a la humedad, calor elevado, aceite y gasolina.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Espesor de Chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aproximado (mm)	Peso total Aproximado (kg/km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos					
FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO							
14	2,08	1	0,38	0,10	2,59	22,56	25
12	3,31	1	0,38	0,10	3,01	34,32	30
10	5,261	1	0,51	0,10	3,81	54,74	40
8	8,367	1	0,76	0,13	5,04	89,55	55
8	8,367	7	0,76	0,13	5,48	94,93	55
6	13,30	7	0,76	0,13	6,44	144,57	75
4	21,15	7	1,02	0,15	8,22	231,68	95
FORMACIÓN UNILAY							
14	2,08	19	0,38	0,10	2,76	23,58	25
12	3,31	19	0,38	0,10	3,26	35,93	30
10	5,261	19	0,51	0,10	4,11	55,95	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,40	93,62	55
6	13,30	19	0,76	0,13	6,34	142,58	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,09	228,51	95
2	33,62	19	1,02	0,15	9,59	350,90	130
1	42,40	19	1,27	0,18	11,04	437,08	150
1/0	56,49	19	1,27	0,18	12,05	560,77	170
2/0	67,44	19	1,27	0,18	13,17	697,21	195

*Capacidad máxima de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30 °C.



MATRIZ: PARQUE INDUSTRIAL "EL SAUCE", KM. 11 1/2 VIA DAULE. GUAYAQUIL – ECUADOR
TELÉFONOS: GUAYAQUIL: (593) 4 370 5460 – QUITO: (593) 2 282 9111

www.electrocable.com

Fuente: [119].

Anexo 10. Factor de ajuste para más de tres conductores en una canalización o cable.

Número de conductores	Factor de ajuste
4 – 6	80%
7 – 9	70%

Fuente: [115].

Anexo 11. Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase.

Sección de los conductores de fase de la instalación [S] (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección [S _p] (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Fuente: [60], [120].

Anexo 12. Dimensiones de la tubería no metálica eléctrica (E.N.T.) y área disponible para los conductores.

Designador métrico	Tamaño comercial	Diámetro interior nominal	Área total	Área disponible para conductores (mm ²)		
				40% (más de 2 conductores)	31% (2 conductores)	53% (1 conductor)
mm	pulg.	mm	mm ²			
16	½	15,30	184	73	57	97
21	¾	20,40	328	131	102	174
27	1	26,10	537	215	166	284
35	1 ¼	34,50	937	375	291	497
41	1 ½	40,40	1.281	512	397	679

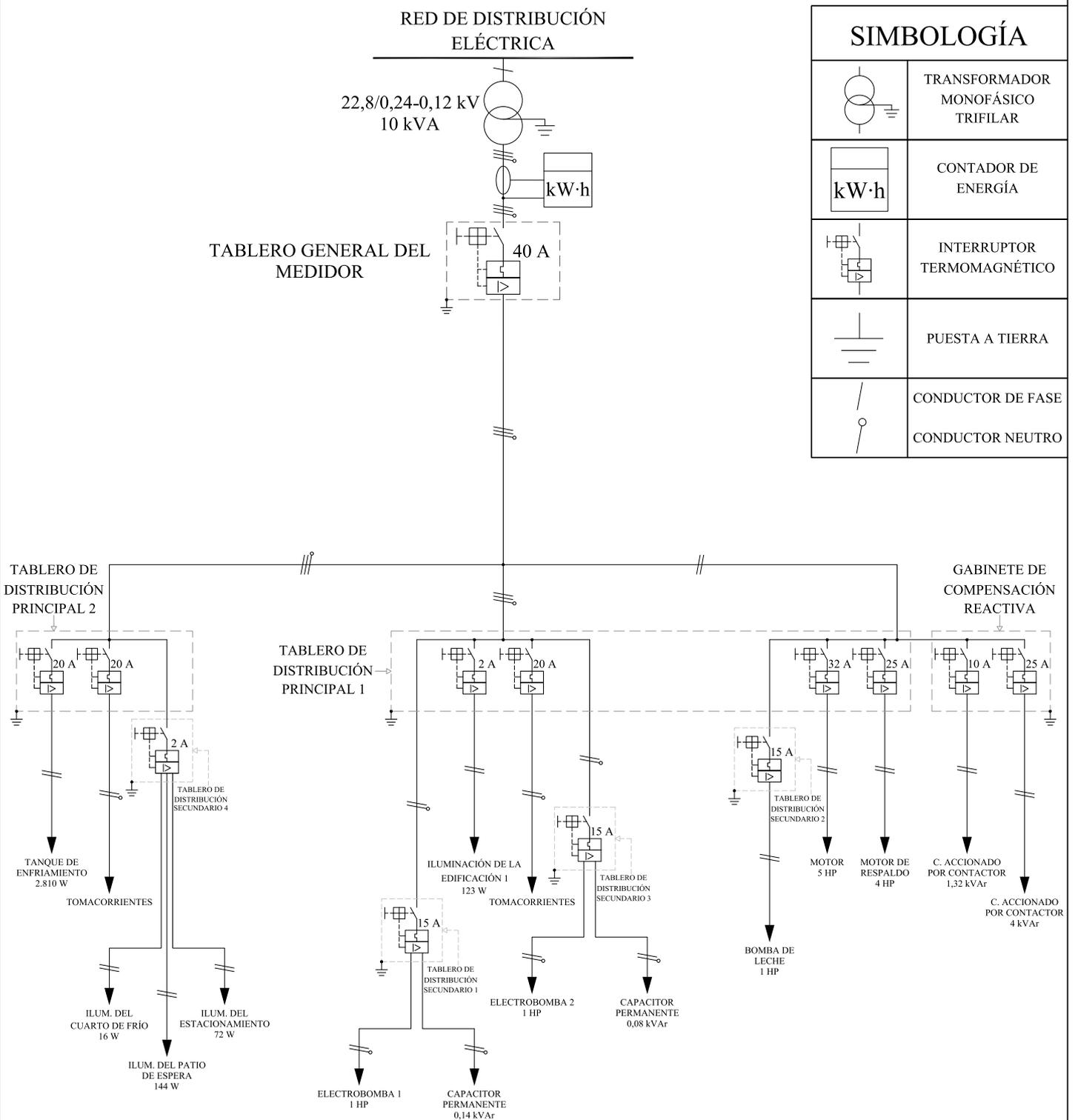
Fuente: [115], [121].

Anexo 13. Factor multiplicador para obtener el factor de potencia deseado.

Sin compensación		Coeficiente multiplicador para obtener el factor de potencia deseado									
tan(ϕ)	cos(ϕ)	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,00
				0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
1,33	0,60	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
1,30	0,61	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
1,20	0,64	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
1,17	0,65	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
1,14	0,66	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
1,05	0,69	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
1,02	0,70	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,99	0,71	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,96	0,72	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,94	0,73	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,91	0,74	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,88	0,75	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,86	0,76	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,80	0,78	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,78	0,79	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,75	0,80	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,72	0,81	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,70	0,82	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,67	0,83	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,65	0,84	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,62	0,85	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,59	0,86	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,57	0,87	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,51	0,89	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,48	0,90	0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
0,46	0,91		0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,43	0,92			0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
0,40	0,93				0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395
0,36	0,94					0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
0,33	0,95						0,037	0,078	0,126	0,186	0,329

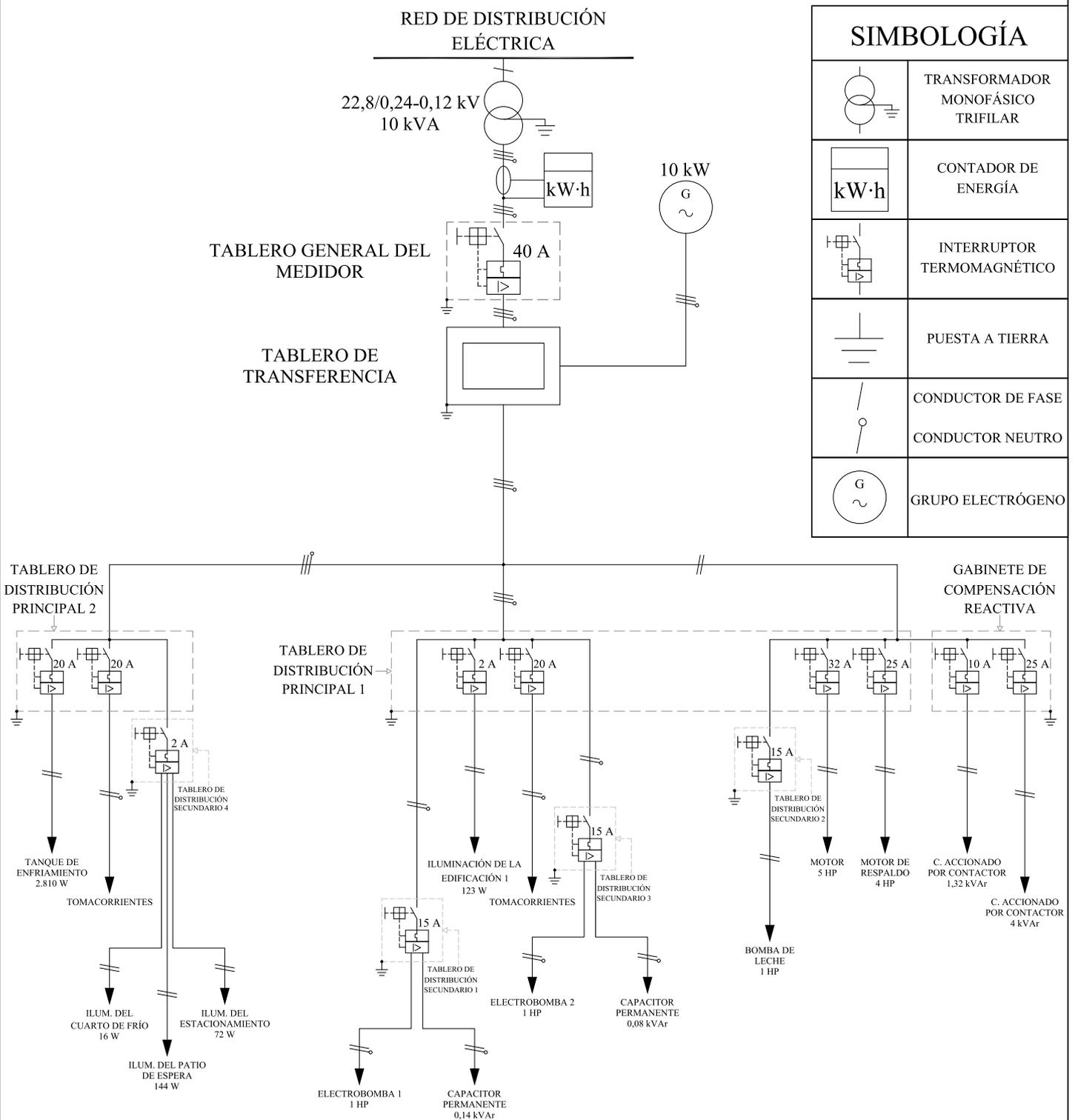
Fuente: Autores.

Anexo 14. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la finca “La Cordillera” con propuestas de mejora.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA – ECUADOR		AUTORES: - JIMÉNEZ JIMÉNEZ DIEGO DAVID - POTES VALENCIA PAÚL WLADIMIR	COHORTE: II 2019 PERÍODO: IV PARALELO: ÚNICO
DIRECCIÓN DE POSGRADOS CICLO ACADÉMICO: MARZO – NOVIEMBRE 2021 TUTOR: MSc. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO C.C. TUTOR: 050265642-4	DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA PROPUESTO		MAESTRÍA: ELECTRICIDAD MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE P. LÁMINA No. A4/2 HOJA: 1 DE: 1
126		PROPIETARIO:	

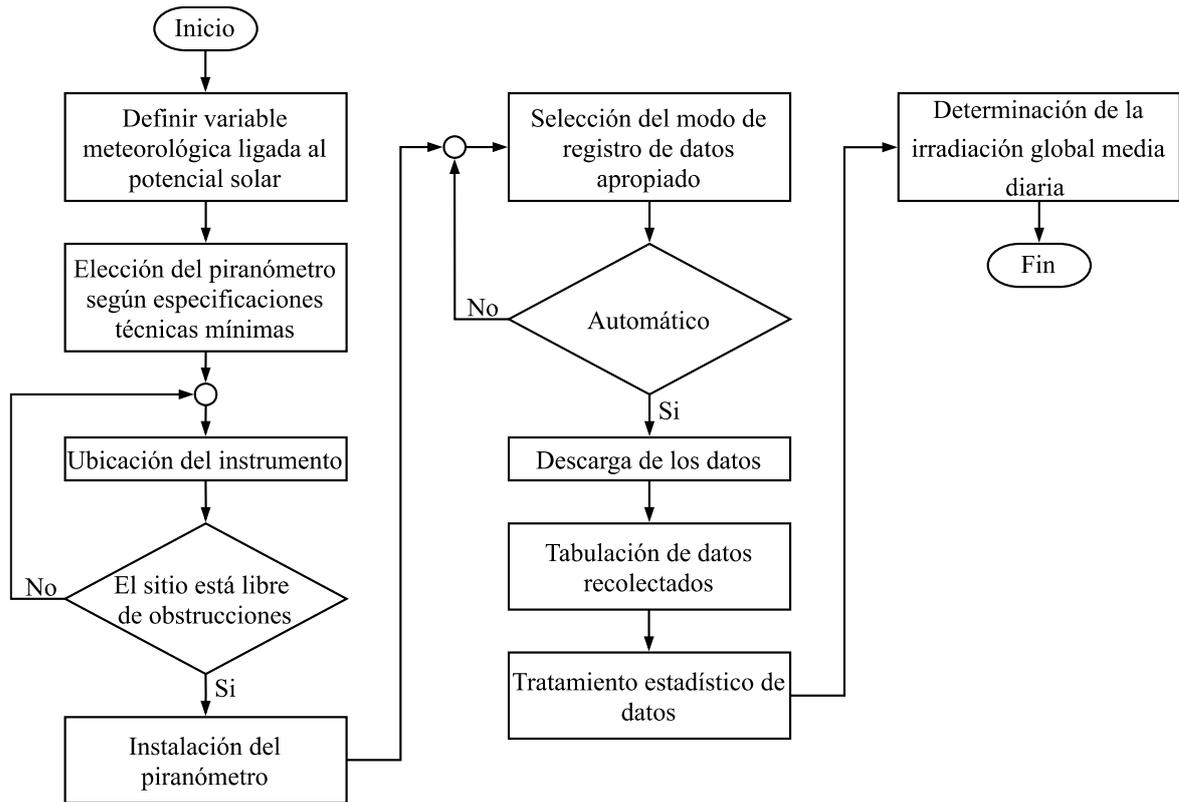
Anexo 15. Diagrama unifilar general del sistema eléctrico con propuestas de mejora y grupo electrógeno.



SIMBOLOGÍA	
	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO TRIFILAR
	CONTADOR DE ENERGÍA
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	PUESTA A TIERRA
	CONDUCTOR DE FASE
	CONDUCTOR NEUTRO
	GRUPO ELECTRÓGENO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA – ECUADOR		AUTORES: - JIMÉNEZ JIMÉNEZ DIEGO DAVID - POTES VALENCIA PAÚL WLADIMIR	COHORTE: II 2019 PERÍODO: IV PARALELO: ÚNICO
DIRECCIÓN DE POSGRADOS	DIAGRAMA UNIFILAR CON GRUPO ELECTRÓGENO	MAESTRÍA: ELECTRICIDAD MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE P.	
CICLO ACADÉMICO: MARZO – NOVIEMBRE 2021		LÁMINA No. A4/3	PROPIETARIO:
TUTOR: MSc. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO		HOJA: 1	DE: 1
C.C. TUTOR: 050265642-4			

Anexo 16. Metodología para la determinación del potencial solar.



Etapa 1: Variable meteorológica ligada al potencial solar

El potencial solar del lugar in situ está directamente relacionado con la cantidad de irradiación en $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ que llega a la superficie terrestre. La radiación solar global (W/m^2) es medida de manera precisa mediante un piranómetro [85], [89].

La variable meteorológica depende de los siguientes parámetros:

- *Geografía*: el lugar, caracterizado por la latitud [89].
- *Condiciones atmosféricas*: la nubosidad y dispersión de partículas (naturales o por la contaminación) dificultan la incidencia de la radiación directa a la superficie terrestre [89].
- *Situación temporal*: conforme la hora del día y estación del año, las condiciones de radiación variarán [89].

Etapa 2: Elección del piranómetro

Las especificaciones mínimas requeridas para la presente investigación son: tiempo de respuesta, error espectral, sin estabilidad, no linealidad, software de descarga y almacenamiento de datos [124], [125], [126].

De acuerdo a la siguiente tabla, el piranómetro Apogee MP-200 y Hukseflux SR30-M2-D1 cumplen con las características mínimas para proporcionar información con una incertidumbre moderada [93], [125].

Piranómetros			
Especificaciones	Metravi 207	Apogee MP-200	Hukseflux SR30-M2-D1
Software de registro y almacenamiento de datos	No	Si	Si
Tiempo de respuesta (< 30 s)	< 25 s	< 1 ms	< 3 s
Error espectral (< ± 5%)	± 5%	± 5%	± 0,5%
Sin estabilidad (< ± 3%)	–	< 2%	< ± 0,5%
No linealidad (< ± 3%)	–	< 1%	< ± 0,2%

Mediante un análisis económico se selecciona el piranómetro Apogee MP-200 por cumplir con las especificaciones técnicas mínimas, precio accesible y disponibilidad en el mercado nacional [108].

Precio y disponibilidad de los piranómetros		
Descripción	Apogee MP-200	Hukseflux SR30-M2-D1
Costo	\$ 840	\$ 4.480
Disponibilidad	En stock	Entre 30 a 90 días

Etapa 3: Ubicación del piranómetro

Para medir con precisión la radiación global que incide en una superficie horizontal, el sensor debe estar nivelado, además, es necesario asegurar un espacio libre de obstrucciones a fin de no ensombrecer la célula fotoeléctrica [93]. Por tanto, el piranómetro fue instalado planamente sobre la azotea de la finca, cuyo lugar tiene ausencia de sombras y obstáculos.

Etapa 4: Tratamiento estadístico de datos

Durante este proceso fue posible obtener los datos de radiación media diaria más representativos del lugar en situ. El anexo 17 muestra el procedimiento a detalle.

Análisis comparativo del potencial solar para determinar la factibilidad del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

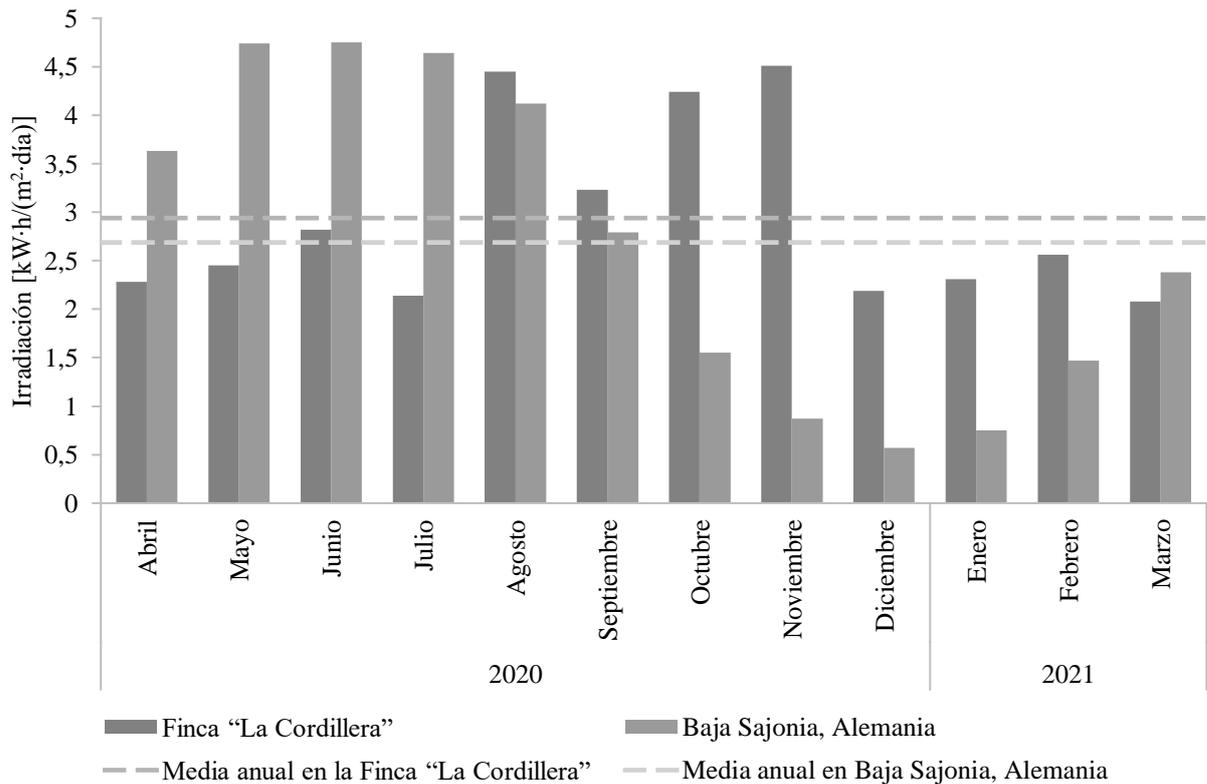
Según [128], a finales de 2018 Alemania disponía aproximadamente de 1,5 millones de sistemas fotovoltaicos instalados en tejados, con un rendimiento específico promedio de $1.022 \pm 151 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kW}_p$, esto debido a la rentabilidad de los proyectos al disponer del mecanismo feed in tariff.

Conforme los datos descritos en la siguiente tabla, se deduce que la media anual de la irradiación global diaria de la finca “La Cordillera” superan levemente a Baja Sajonia (Alemania), con un valor de 2,94 kW·h/(m²·día) y 2,69 kW·h/(m²·día) respectivamente [129].

IRRADIACIÓN GLOBAL MEDIA DIARIA													
													Unidades: kW·h/(m ² ·día)
Año	2020									2021			Anual
Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
Sitio													
Finca “La Cordillera”	2,28	2,45	2,82	2,14	4,45	3,23	4,24	4,51	2,19	2,31	2,56	2,08	2,94
Baja Sajonia, Alemania	3,63	4,74	4,75	4,64	4,12	2,79	1,55	0,87	0,57	0,75	1,47	2,38	2,69

Sin embargo, no es factible realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico en la industria láctea pese a disponer de mayores niveles de radiación solar con respecto a Baja Sajonia durante el período agosto 2020 – febrero 2021 (ver figura), principalmente por la falta de tarifas preferentes, incentivos económicos y existencia del subsidio a la energía eléctrica.

Comparativa media mensual de la irradiación diaria



Fuente: Autores.

Anexo 17. Determinación del potencial solar de la finca "La Cordillera".

Las mediciones de la irradiancia global diaria se las tomó desde abril de 2020 a marzo de 2021, durante el período de 6:00 am a 7:00 pm en intervalos de 30 minutos. Los resultados obtenidos fueron tabulados y representados de manera gráfica por medio de histogramas de frecuencia. La siguiente tabla indica los datos de radiación correspondientes a febrero de 2021.

IRRADIANCIA GLOBAL DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021															
Lugar: Finca "La Cordillera"															Unidades: W/m ²
No.	Fecha	01/02/2021	02/02/2021	03/02/2021	04/02/2021	05/02/2021	06/02/2021	07/02/2021	08/02/2021	09/02/2021	10/02/2021	11/02/2021	12/02/2021	13/02/2021	14/02/2021
	Hora														
1	6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6:30	1	1	1	1	1	1	1	6	1	1	1	1	1	1
3	7:00	10	25	16	16	12	13	9	31	13	9	15	17	20	14
4	7:30	18	35	36	35	29	30	20	63	31	26	41	37	67	38
5	8:00	22	80	47	45	90	41	27	77	66	38	87	99	81	72
6	8:30	119	153	127	151	215	182	183	62	203	224	228	102	165	254
7	9:00	397	221	393	401	359	406	386	141	232	387	276	241	311	390
8	9:30	476	422	503	503	184	463	503	291	338	492	277	172	400	424
9	10:00	594	353	619	523	250	557	604	494	363	581	459	161	423	592
10	10:30	698	440	563	334	450	616	699	263	639	468	291	199	470	636
11	11:00	499	639	276	373	410	679	801	290	527	375	525	339	408	398
12	11:30	299	645	282	403	253	770	473	310	676	775	464	164	440	488
13	12:00	229	294	535	301	140	628	322	311	560	493	633	167	414	493
14	12:30	195	298	314	165	308	326	488	208	692	965	451	231	365	364
15	13:00	174	352	578	120	337	220	439	242	640	921	514	332	312	717
16	13:30	98	205	339	323	266	107	504	500	420	693	595	264	343	468
17	14:00	215	259	263	385	319	313	305	420	829	533	409	402	454	292
18	14:30	150	208	345	147	250	238	235	187	583	718	447	332	611	574
19	15:00	87	152	426	259	282	568	202	449	196	543	337	376	339	471
20	15:30	107	145	322	141	163	493	181	287	230	227	292	292	318	140
21	16:00	159	214	261	150	150	186	182	278	201	525	366	251	257	233
22	16:30	103	149	252	78	155	127	116	100	126	356	297	183	205	92
23	17:00	139	96	185	62	102	129	134	78	59	76	211	107	131	104
24	17:30	130	88	130	23	33	92	88	20	50	94	191	74	48	56
25	18:00	42	38	72	17	42	51	77	5	17	29	60	52	50	39
26	18:30	9	8	33	11	12	16	33	3	3	18	20	19	8	10
27	19:00	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1

IRRADIANCIA GLOBAL DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021															
Lugar: Finca "La Cordillera"															Unidades: W/m²
No.	Fecha	15/02/2021	16/02/2021	17/02/2021	18/02/2021	19/02/2021	20/02/2021	21/02/2021	22/02/2021	23/02/2021	24/02/2021	25/02/2021	26/02/2021	27/02/2021	28/02/2021
	Hora														
1	6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6:30	0	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1
3	7:00	17	35	13	17	8	18	33	13	19	16	16	14	19	10
4	7:30	69	127	55	68	29	61	45	45	57	41	52	62	59	49
5	8:00	161	210	194	137	104	181	70	59	111	74	129	105	131	221
6	8:30	249	266	195	207	118	290	161	55	180	108	223	160	171	163
7	9:00	297	234	287	253	121	251	226	51	174	389	259	180	263	265
8	9:30	234	481	392	285	78	235	319	67	318	403	271	286	211	298
9	10:00	343	467	553	330	123	562	284	142	327	475	477	393	254	443
10	10:30	481	260	598	443	249	788	282	170	179	638	258	368	288	422
11	11:00	348	97	720	567	366	416	499	179	299	427	451	325	284	303
12	11:30	394	202	717	446	338	571	768	217	495	355	309	364	434	579
13	12:00	384	583	431	452	186	801	697	224	417	403	165	301	592	354
14	12:30	428	419	506	315	223	628	800	251	503	291	306	223	319	422
15	13:00	509	608	376	343	277	351	733	265	314	200	268	347	224	152
16	13:30	680	412	192	352	278	266	335	242	207	390	276	371	259	127
17	14:00	459	487	222	442	254	319	113	172	76	304	332	338	229	248
18	14:30	258	749	271	432	117	180	98	292	304	276	271	217	326	470
19	15:00	109	763	462	361	208	324	260	391	419	246	102	354	271	165
20	15:30	96	515	586	397	90	104	383	114	205	243	203	425	121	88
21	16:00	103	148	327	133	100	288	425	84	175	92	201	247	108	42
22	16:30	182	159	129	143	74	145	382	120	75	102	341	129	78	36
23	17:00	137	133	154	135	68	134	329	32	51	53	152	63	96	46
24	17:30	51	202	64	101	60	81	103	19	61	67	94	22	73	23
25	18:00	25	127	34	57	31	25	40	16	40	39	32	37	27	10
26	18:30	12	18	16	11	9	12	9	6	4	14	10	10	14	6
27	19:00	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0

Análisis estadístico de la irradiancia media diaria de febrero

El valor mínimo, máximo, rango, número de intervalos, amplitud, intervalos de clase, frecuencias y punto medio, representan los parámetros requeridos para elaborar los histogramas.

Distribución de frecuencia

Según las citas bibliográficas [130], [131], [132], primeramente, se procede a establecer el rango (R) conforme la ecuación 43, donde el valor máximo ($x_{m\acute{a}x}$) y mínimo ($x_{m\acute{i}n}$) es determinado de la anterior tabla descrita en el horario de 11:30 am.

$$R = x_{m\acute{a}x} - x_{m\acute{i}n} \quad (43)$$

$$R = (775 - 164) = 611$$

Seguidamente, se establece el número de intervalos (N_c) conforme a la regla de Sturges representada en la expresión 44, donde n es la cantidad de datos.

$$N_c = 1 + \log_2(n) \quad (44)$$

$$N_c = 1 + \log_2(28) = 5,81 \approx 6$$

La amplitud o tamaño de los intervalos de clase (T_c) es determinada mediante la relación entre el rango (R) y el número de intervalos (N_c) como sigue:

$$T_c = \frac{R}{N_c} \quad (45)$$

$$T_c = \frac{611}{6} = 101,83 \approx 102$$

A continuación, son calculados los límites de clase inferior (L_i) y superior (L_s) que permiten definir el intervalo de clase.

$$L_i = x_{m\acute{i}n} \quad (46)$$

$$L_i = 164$$

$$L_s = L_i + T_c \quad (47)$$

$$L_s = 164 + 102 = 266$$

Así, el primer intervalo de clase resulta [164;266), sin embargo, el proceso debe repetirse hasta alcanzar los 6 intervalos.

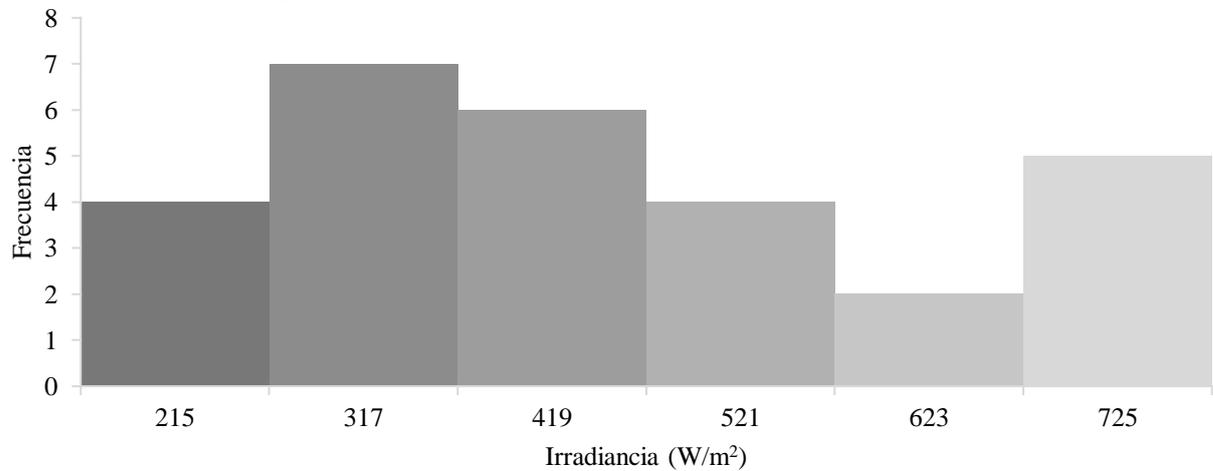
Por último, es obtenido el punto medio o marca de clase (X_i) con la expresión 48. Los datos calculados se presentan en la tabla y figura mostradas a continuación.

$$X_i = \frac{L_i + L_s}{2} \quad (48)$$

$$X_i = \frac{164 + 266}{2} = 215$$

MES	FEBRERO	HORA	11:30 am
Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[164;266)	4	4	215
[266;368)	7	11	317
[368;470)	6	17	419
[470;572)	4	21	521
[572;674)	2	23	623
[674;776]	5	28	725
Total	28		

Histograma de frecuencia del mes de febrero del 2021 a las 11:30 am

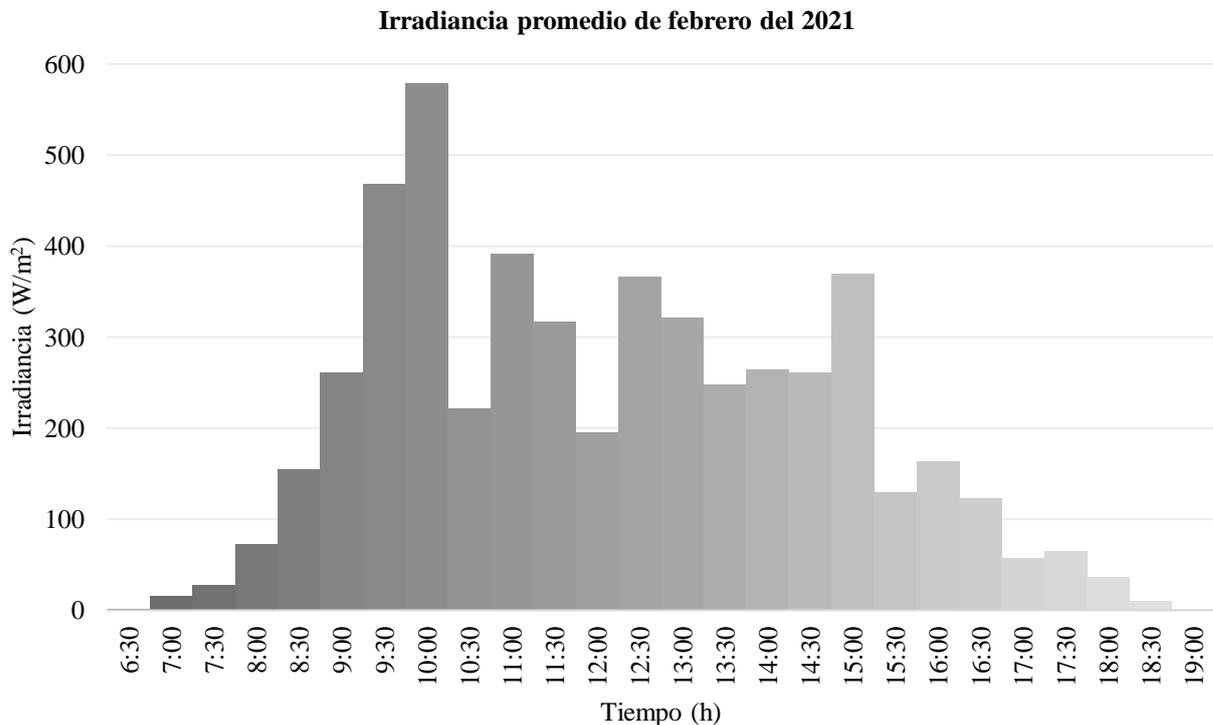


La distribución de frecuencia debe realizarse cada 30 minutos durante el mes de febrero de 2021; los valores resultantes son presentados resumidamente en los anexos 18 – 42. La tabla mostrada a continuación contiene los datos de irradiancia global media diaria que se repiten con mayor regularidad de los intervalos de clase.

IRRADIANCIA GLOBAL PROMEDIO DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021		
Lugar: Finca "La Cordillera"		
No.	Hora	Irradiancia global (W/m ²)
1	6:30	1,50
2	7:00	15,50
3	7:30	27,50
4	8:00	73,00
5	8:30	155,00
6	9:00	261,00
7	9:30	468,50

IRRADIANCIA GLOBAL PROMEDIO DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021		
Lugar: Finca "La Cordillera"		
No.	Hora	Irradiancia global (W/m²)
8	10:00	579,50
9	10:30	221,50
10	11:00	392,00
11	11:30	317,00
12	12:00	195,50
13	12:30	366,00
14	13:00	321,00
15	13:30	248,00
16	14:00	265,00
17	14:30	261,50
18	15:00	369,50
19	15:30	129,50
20	16:00	163,50
21	16:30	123,00
22	17:00	57,00
23	17:30	65,50
24	18:00	36,50
25	18:30	10,50
26	19:00	1,50

Como se visualiza en la gráfica adjunta, la máxima irradiancia global promedio diaria del mes de febrero de 2021 está presente a las 10:00 am con un valor de 579,50 W/m².



Fuente: Autores.

Anexo 18. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 6:30 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
1	6:30	01/02/2021	1	Valor mínimo
		02/02/2021	1	Valor máximo
		03/02/2021	1	Rango (R)
		04/02/2021	1	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	1	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	1	
		07/02/2021	1	
		08/02/2021	6	
		09/02/2021	1	
		10/02/2021	1	
		11/02/2021	1	
		12/02/2021	1	
		13/02/2021	1	
		14/02/2021	1	
		15/02/2021	0	
		16/02/2021	1	
		17/02/2021	1	
		18/02/2021	1	
		19/02/2021	0	
		20/02/2021	1	
		21/02/2021	2	
		22/02/2021	1	
		23/02/2021	1	
		24/02/2021	1	
		25/02/2021	1	
		26/02/2021	1	
		27/02/2021	1	
		28/02/2021	1	

Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
0	6	6	5,81 ≈ 6	1

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[0;1)	2	2	0,5
[1;2)	24	26	1,5
[2;3)	1	27	2,5
[3;4)	0	27	3,5
[4;5)	0	27	4,5
[5;6]	1	28	5,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Autores.

Anexo 19. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 7:00 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021					
Lugar: Finca "La Cordillera"					
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)		
2	7:00	01/02/2021	10	Valor mínimo	
		02/02/2021	25	Valor máximo	
		03/02/2021	16	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)
		04/02/2021	16	Amplitud (Tc)	
		05/02/2021	12		
		06/02/2021	13		
		07/02/2021	9		
		08/02/2021	31		
		09/02/2021	13		
		10/02/2021	9		
		11/02/2021	15		
		12/02/2021	17		
		13/02/2021	20		
		14/02/2021	14		
		15/02/2021	17		
		16/02/2021	35		
		17/02/2021	13		
		18/02/2021	17		
		19/02/2021	8		
		20/02/2021	18		
		21/02/2021	33		
		22/02/2021	13		
		23/02/2021	19		
		24/02/2021	16		
		25/02/2021	16		
		26/02/2021	14		
		27/02/2021	19		
		28/02/2021	10		

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[8;13)	6	6	10,5
[13;18)	14	20	15,5
[18;23)	4	24	20,5
[23;28)	1	25	25,5
[28;33)	1	26	30,5
[33;38]	2	28	35,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia
[8;13)	6
[13;18)	14
[18;23)	4
[23;28)	1
[28;33)	1
[33;38]	2

Fuente: Autores.

Anexo 20. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 7:30 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
3	7:30	01/02/2021	18	Valor mínimo: 18, Valor máximo: 127, Rango (R): 109, Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6, Amplitud (Tc): 18,17 ≈ 19
		02/02/2021	35	
		03/02/2021	36	
		04/02/2021	35	
		05/02/2021	29	
		06/02/2021	30	
		07/02/2021	20	
		08/02/2021	63	
		09/02/2021	31	
		10/02/2021	26	
		11/02/2021	41	
		12/02/2021	37	
		13/02/2021	67	
		14/02/2021	38	
		15/02/2021	69	
		16/02/2021	127	
		17/02/2021	55	
		18/02/2021	68	
		19/02/2021	29	
		20/02/2021	61	
		21/02/2021	45	
		22/02/2021	45	
		23/02/2021	57	
		24/02/2021	41	
		25/02/2021	52	
		26/02/2021	62	
		27/02/2021	59	
		28/02/2021	49	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[18;37)	10	10	27,5
[37;56)	9	19	46,5
[56;75)	8	27	65,5
[75;94)	0	27	84,5
[94;113)	0	27	103,5
[113;132]	1	28	122,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Autores.

Anexo 21. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 8:00 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
4	8:00	01/02/2021	22	Valor mínimo: 22
		02/02/2021	80	Valor máximo: 221
		03/02/2021	47	Rango (R): 199
		04/02/2021	45	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	90	Amplitud (Tc): 33,17 ≈ 34
		06/02/2021	41	
		07/02/2021	27	
		08/02/2021	77	
		09/02/2021	66	
		10/02/2021	38	
		11/02/2021	87	
		12/02/2021	99	
		13/02/2021	81	
		14/02/2021	72	
		15/02/2021	161	
		16/02/2021	210	
		17/02/2021	194	
		18/02/2021	137	
		19/02/2021	104	
		20/02/2021	181	
		21/02/2021	70	
		22/02/2021	59	
		23/02/2021	111	
		24/02/2021	74	
		25/02/2021	129	
		26/02/2021	105	
		27/02/2021	131	
		28/02/2021	221	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[22;56)	6	6	39
[56;90)	9	15	73
[90;124)	5	20	107
[124;158)	3	23	141
[158;192)	2	25	175
[192;226]	3	28	209
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[22;56)	6
[56;90)	9
[90;124)	5
[124;158)	3
[158;192)	2
[192;226]	3

Fuente: Autores.

Anexo 22. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 8:30 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
5	8:30	01/02/2021	119	Valor mínimo: 55
		02/02/2021	153	Valor máximo: 290
		03/02/2021	127	Rango (R): 235
		04/02/2021	151	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	215	Amplitud (Tc): 39,17 ≈ 40
		06/02/2021	182	
		07/02/2021	183	
		08/02/2021	62	
		09/02/2021	203	
		10/02/2021	224	
		11/02/2021	228	
		12/02/2021	102	
		13/02/2021	165	
		14/02/2021	254	
		15/02/2021	249	
		16/02/2021	266	
		17/02/2021	195	
		18/02/2021	207	
		19/02/2021	118	
		20/02/2021	290	
		21/02/2021	161	
		22/02/2021	55	
		23/02/2021	180	
		24/02/2021	108	
		25/02/2021	223	
		26/02/2021	160	
		27/02/2021	171	
		28/02/2021	163	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[55;95)	2	2	75
[95;135)	5	7	115
[135;175)	7	14	155
[175;215)	6	20	195
[215;255)	6	26	235
[255;295]	2	28	275
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Autores.

Anexo 23. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 9:00 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
6	9:00	01/02/2021	397	Valor mínimo: 51
		02/02/2021	221	Valor máximo: 406
		03/02/2021	393	Rango (R): 355
		04/02/2021	401	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	359	Amplitud (Tc): 59,17 ≈ 60
		06/02/2021	406	
		07/02/2021	386	
		08/02/2021	141	
		09/02/2021	232	
		10/02/2021	387	
		11/02/2021	276	
		12/02/2021	241	
		13/02/2021	311	
		14/02/2021	390	
		15/02/2021	297	
		16/02/2021	234	
		17/02/2021	287	
		18/02/2021	253	
		19/02/2021	121	
		20/02/2021	251	
		21/02/2021	226	
		22/02/2021	51	
		23/02/2021	174	
		24/02/2021	389	
		25/02/2021	259	
		26/02/2021	180	
		27/02/2021	263	
		28/02/2021	265	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[51;111)	1	1	81
[111;171)	2	3	141
[171;231)	4	7	201
[231;291)	10	17	261
[291;351)	2	19	321
[351;411]	9	28	381
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[51;111)	1
[111;171)	2
[171;231)	4
[231;291)	10
[291;351)	2
[351;411]	9

Fuente: Autores.

Anexo 24. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 9:30 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
7	9:30	01/02/2021	476	Valor mínimo
		02/02/2021	422	Valor máximo
		03/02/2021	503	Rango (R)
		04/02/2021	503	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	184	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	463	
		07/02/2021	503	
		08/02/2021	291	
		09/02/2021	338	
		10/02/2021	492	
		11/02/2021	277	
		12/02/2021	172	
		13/02/2021	400	
		14/02/2021	424	
		15/02/2021	234	
		16/02/2021	481	
		17/02/2021	392	
		18/02/2021	285	
		19/02/2021	78	
		20/02/2021	235	
		21/02/2021	319	
		22/02/2021	67	
		23/02/2021	318	
		24/02/2021	403	
		25/02/2021	271	
		26/02/2021	286	
		27/02/2021	211	
		28/02/2021	298	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[67;140)	2	2	103,5
[140;213)	3	5	176,5
[213;286)	5	10	249,5
[286;359)	6	16	322,5
[359;432)	5	21	395,5
[432;505]	7	28	468,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[67;140)	2
[140;213)	3
[213;286)	5
[286;359)	6
[359;432)	5
[432;505]	7

Fuente: Autores.

Anexo 25. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 10:00 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
8	10:00	01/02/2021	594	Valor mínimo: 123
		02/02/2021	353	Valor máximo: 619
		03/02/2021	619	Rango (R): 496
		04/02/2021	523	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	250	Amplitud (Tc): 82,67 ≈ 83
		06/02/2021	557	
		07/02/2021	604	
		08/02/2021	494	
		09/02/2021	363	
		10/02/2021	581	
		11/02/2021	459	
		12/02/2021	161	
		13/02/2021	423	
		14/02/2021	592	
		15/02/2021	343	
		16/02/2021	467	
		17/02/2021	553	
		18/02/2021	330	
		19/02/2021	123	
		20/02/2021	562	
		21/02/2021	284	
		22/02/2021	142	
		23/02/2021	327	
		24/02/2021	475	
		25/02/2021	477	
		26/02/2021	393	
		27/02/2021	254	
		28/02/2021	443	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[123;206)	3	3	164,5
[206;289)	3	6	247,5
[289;372)	5	11	330,5
[372;455)	3	14	413,5
[455;538)	6	20	496,5
[538;621]	8	28	579,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Autores.

Anexo 26. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 10:30 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
9	10:30	01/02/2021	698	Valor mínimo
		02/02/2021	440	Valor máximo
		03/02/2021	563	Rango (R)
		04/02/2021	334	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	450	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	616	
		07/02/2021	699	
		08/02/2021	263	
		09/02/2021	639	
		10/02/2021	468	
		11/02/2021	291	
		12/02/2021	199	
		13/02/2021	470	
		14/02/2021	636	
		15/02/2021	481	
		16/02/2021	260	
		17/02/2021	598	
		18/02/2021	443	
		19/02/2021	249	
		20/02/2021	788	
		21/02/2021	282	
		22/02/2021	170	
		23/02/2021	179	
		24/02/2021	638	
		25/02/2021	258	
		26/02/2021	368	
		27/02/2021	288	
		28/02/2021	422	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[170;273)	7	7	221,5
[273;376)	5	12	324,5
[376;479)	6	18	427,5
[479;582)	2	20	530,5
[582;685)	5	25	633,5
[685;788]	3	28	736,5
Total	28		

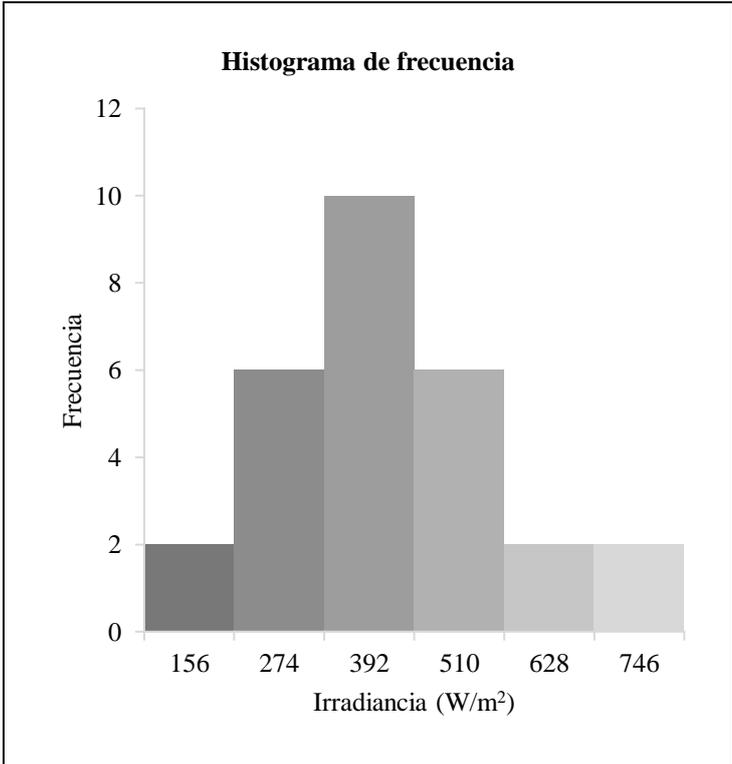
Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[170;273)	7
[273;376)	5
[376;479)	6
[479;582)	2
[582;685)	5
[685;788]	3

Fuente: Autores.

Anexo 27. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 11:00 am de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021																																										
Lugar: Finca "La Cordillera"																																										
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)																																							
10	11:00	01/02/2021	499	Valor mínimo																																						
		02/02/2021	639	Valor máximo																																						
		03/02/2021	276	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)																																					
		04/02/2021	373	Amplitud (Tc)																																						
		05/02/2021	410	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia absoluta</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Intervalos de clase</td> <td>f_i</td> <td>F_i</td> <td>X_i</td> </tr> <tr> <td>[97;215)</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>156</td> </tr> <tr> <td>[215;333)</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>274</td> </tr> <tr> <td>[333;451)</td> <td>10</td> <td>18</td> <td>392</td> </tr> <tr> <td>[451;569)</td> <td>6</td> <td>24</td> <td>510</td> </tr> <tr> <td>[569;687)</td> <td>2</td> <td>26</td> <td>628</td> </tr> <tr> <td>[687;805]</td> <td>2</td> <td>28</td> <td>746</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[97;215)	2	2	156	[215;333)	6	8	274	[333;451)	10	18	392	[451;569)	6	24	510	[569;687)	2	26	628	[687;805]	2	28	746	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase																																					
		Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i																																					
		[97;215)	2	2	156																																					
		[215;333)	6	8	274																																					
		[333;451)	10	18	392																																					
		[451;569)	6	24	510																																					
		[569;687)	2	26	628																																					
		[687;805]	2	28	746																																					
		Total	28																																							
		06/02/2021	679																																							
		07/02/2021	801																																							
		08/02/2021	290																																							
		09/02/2021	527																																							
		10/02/2021	375																																							
		11/02/2021	525																																							
		12/02/2021	339																																							
		13/02/2021	408																																							
		14/02/2021	398																																							
		15/02/2021	348																																							
		16/02/2021	97																																							
		17/02/2021	720																																							
		18/02/2021	567																																							
		19/02/2021	366																																							
20/02/2021	416																																									
21/02/2021	499																																									
22/02/2021	179																																									
23/02/2021	299																																									
24/02/2021	427																																									
25/02/2021	451																																									
26/02/2021	325																																									
27/02/2021	284																																									
28/02/2021	303																																									



Fuente: Autores.

Anexo 28. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 12:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
11	12:00	01/02/2021	229	Valor mínimo
		02/02/2021	294	Valor máximo
		03/02/2021	535	Rango (R)
		04/02/2021	301	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	140	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	628	
		07/02/2021	322	
		08/02/2021	311	
		09/02/2021	560	
		10/02/2021	493	
		11/02/2021	633	
		12/02/2021	167	
		13/02/2021	414	
		14/02/2021	493	
		15/02/2021	384	
		16/02/2021	583	
		17/02/2021	431	
		18/02/2021	452	
		19/02/2021	186	
		20/02/2021	801	
		21/02/2021	697	
		22/02/2021	224	
		23/02/2021	417	
		24/02/2021	403	
		25/02/2021	165	
		26/02/2021	301	
		27/02/2021	592	
		28/02/2021	354	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[140;251)	6	6	195,5
[251;362)	6	12	306,5
[362;473)	6	18	417,5
[473;584)	5	23	528,5
[584;695)	3	26	639,5
[695;806]	2	28	750,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Frecuencia

Irradiancia (W/m²)

Fuente: Autores.

Anexo 29. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 12:30 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
12	12:30	01/02/2021	195	Valor mínimo
		02/02/2021	298	Valor máximo
		03/02/2021	314	Rango (R)
		04/02/2021	165	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	308	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	326	
		07/02/2021	488	
		08/02/2021	208	
		09/02/2021	692	
		10/02/2021	965	
		11/02/2021	451	
		12/02/2021	231	
		13/02/2021	365	
		14/02/2021	364	
		15/02/2021	428	
		16/02/2021	419	
		17/02/2021	506	
		18/02/2021	315	
		19/02/2021	223	
		20/02/2021	628	
		21/02/2021	800	
		22/02/2021	251	
		23/02/2021	503	
		24/02/2021	291	
		25/02/2021	306	
		26/02/2021	223	
		27/02/2021	319	
		28/02/2021	422	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[165;299)	9	9	232
[299;433)	11	20	366
[433;567)	4	24	500
[567;701)	2	26	634
[701;835)	1	27	768
[835;969]	1	28	902
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[165;299)	9
[299;433)	11
[433;567)	4
[567;701)	2
[701;835)	1
[835;969]	1

Fuente: Autores.

Anexo 30. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 1:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
13	13:00	01/02/2021	174	Valor mínimo
		02/02/2021	352	Valor máximo
		03/02/2021	578	Rango (R)
		04/02/2021	120	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	337	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	220	
		07/02/2021	439	
		08/02/2021	242	
		09/02/2021	640	
		10/02/2021	921	
		11/02/2021	514	
		12/02/2021	332	
		13/02/2021	312	
		14/02/2021	717	
		15/02/2021	509	
		16/02/2021	608	
		17/02/2021	376	
		18/02/2021	343	
		19/02/2021	277	
		20/02/2021	351	
		21/02/2021	733	
		22/02/2021	265	
		23/02/2021	314	
		24/02/2021	200	
		25/02/2021	268	
		26/02/2021	347	
		27/02/2021	224	
		28/02/2021	152	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[120;254)	7	7	187
[254;388)	12	19	321
[388;522)	3	22	455
[522;656)	3	25	589
[656;790)	2	27	723
[790;924]	1	28	857
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[120;254)	7
[254;388)	12
[388;522)	3
[522;656)	3
[656;790)	2
[790;924]	1

Fuente: Autores.

Anexo 31. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 1:30 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
14	13:30	01/02/2021	98	Valor mínimo: 98
		02/02/2021	205	Valor máximo: 693
		03/02/2021	339	Rango (R): 595
		04/02/2021	323	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	266	Amplitud (Tc): 99,17 ≈ 100
		06/02/2021	107	
		07/02/2021	504	
		08/02/2021	500	
		09/02/2021	420	
		10/02/2021	693	
		11/02/2021	595	
		12/02/2021	264	
		13/02/2021	343	
		14/02/2021	468	
		15/02/2021	680	
		16/02/2021	412	
		17/02/2021	192	
		18/02/2021	352	
		19/02/2021	278	
		20/02/2021	266	
		21/02/2021	335	
		22/02/2021	242	
		23/02/2021	207	
		24/02/2021	390	
		25/02/2021	276	
		26/02/2021	371	
		27/02/2021	259	
		28/02/2021	127	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[98;198)	4	4	148
[198;298)	9	13	248
[298;398)	7	20	348
[398;498)	3	23	448
[498;598)	3	26	548
[598;698]	2	28	648
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Autores.

Anexo 32. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 2:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
15	14:00	01/02/2021	215	Valor mínimo: 76
		02/02/2021	259	Valor máximo: 829
		03/02/2021	263	Rango (R): 753
		04/02/2021	385	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	319	Amplitud (Tc): 125,50 ≈ 126
		06/02/2021	313	
		07/02/2021	305	
		08/02/2021	420	
		09/02/2021	829	
		10/02/2021	533	
		11/02/2021	409	
		12/02/2021	402	
		13/02/2021	454	
		14/02/2021	292	
		15/02/2021	459	
		16/02/2021	487	
		17/02/2021	222	
		18/02/2021	442	
		19/02/2021	254	
		20/02/2021	319	
		21/02/2021	113	
		22/02/2021	172	
		23/02/2021	76	
		24/02/2021	304	
		25/02/2021	332	
		26/02/2021	338	
		27/02/2021	229	
		28/02/2021	248	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[76;202)	3	3	139
[202;328)	13	16	265
[328;454)	7	23	391
[454;580)	4	27	517
[580;706)	0	27	643
[706;832]	1	28	769
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[76;202)	3
[202;328)	13
[328;454)	7
[454;580)	4
[580;706)	0
[706;832]	1

Fuente: Autores.

Anexo 33. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 2:30 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
16	14:30	01/02/2021	150	Valor mínimo
		02/02/2021	208	Valor máximo
		03/02/2021	345	Rango (R)
		04/02/2021	147	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	250	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	238	
		07/02/2021	235	
		08/02/2021	187	
		09/02/2021	583	
		10/02/2021	718	
		11/02/2021	447	
		12/02/2021	332	
		13/02/2021	611	
		14/02/2021	574	
		15/02/2021	258	
		16/02/2021	749	
		17/02/2021	271	
		18/02/2021	432	
		19/02/2021	117	
		20/02/2021	180	
		21/02/2021	98	
		22/02/2021	292	
		23/02/2021	304	
		24/02/2021	276	
		25/02/2021	271	
		26/02/2021	217	
		27/02/2021	326	
		28/02/2021	470	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[98;207)	6	6	152,5
[207;316)	11	17	261,5
[316;425)	3	20	370,5
[425;534)	3	23	479,5
[534;643)	3	26	588,5
[643;752]	2	28	697,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Frecuencia

Irradiancia (W/m²)

Fuente: Autores.

Anexo 34. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 3:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
17	15:00	01/02/2021	87	Valor mínimo
		02/02/2021	152	Valor máximo
		03/02/2021	426	Rango (R)
		04/02/2021	259	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	282	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	568	
		07/02/2021	202	
		08/02/2021	449	
		09/02/2021	196	
		10/02/2021	543	
		11/02/2021	337	
		12/02/2021	376	
		13/02/2021	339	
		14/02/2021	471	
		15/02/2021	109	
		16/02/2021	763	
		17/02/2021	462	
		18/02/2021	361	
		19/02/2021	208	
		20/02/2021	324	
		21/02/2021	260	
		22/02/2021	391	
		23/02/2021	419	
		24/02/2021	246	
		25/02/2021	102	
		26/02/2021	354	
		27/02/2021	271	
		28/02/2021	165	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[87;200)	6	6	143,5
[200;313)	7	13	256,5
[313;426)	8	21	369,5
[426;539)	4	25	482,5
[539;652)	2	27	595,5
[652;765]	1	28	708,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[87;200)	6
[200;313)	7
[313;426)	8
[426;539)	4
[539;652)	2
[652;765]	1

Fuente: Autores.

Anexo 35. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 3:30 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
18	15:30	01/02/2021	107	Valor mínimo
		02/02/2021	145	Valor máximo
		03/02/2021	322	Rango (R)
		04/02/2021	141	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	163	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	493	
		07/02/2021	181	
		08/02/2021	287	
		09/02/2021	230	
		10/02/2021	227	
		11/02/2021	292	
		12/02/2021	292	
		13/02/2021	318	
		14/02/2021	140	
		15/02/2021	96	
		16/02/2021	515	
		17/02/2021	586	
		18/02/2021	397	
		19/02/2021	90	
		20/02/2021	104	
		21/02/2021	383	
		22/02/2021	114	
		23/02/2021	205	
		24/02/2021	243	
		25/02/2021	203	
		26/02/2021	425	
		27/02/2021	121	
		28/02/2021	88	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[88;171)	11	11	129,5
[171;254)	6	17	212,5
[254;337)	5	22	295,5
[337;420)	2	24	378,5
[420;503)	2	26	461,5
[503;586]	2	28	544,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[88;171)	11
[171;254)	6
[254;337)	5
[337;420)	2
[420;503)	2
[503;586]	2

Fuente: Autores.

Anexo 36. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 4:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
19	16:00	01/02/2021	159	Valor mínimo: 42
		02/02/2021	214	Valor máximo: 525
		03/02/2021	261	Rango (R): 483
		04/02/2021	150	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	150	Amplitud (Tc): 80,50 ≈ 81
		06/02/2021	186	
		07/02/2021	182	
		08/02/2021	278	
		09/02/2021	201	
		10/02/2021	525	
		11/02/2021	366	
		12/02/2021	251	
		13/02/2021	257	
		14/02/2021	233	
		15/02/2021	103	
		16/02/2021	148	
		17/02/2021	327	
		18/02/2021	133	
		19/02/2021	100	
		20/02/2021	288	
		21/02/2021	425	
		22/02/2021	84	
		23/02/2021	175	
		24/02/2021	92	
		25/02/2021	201	
		26/02/2021	247	
		27/02/2021	108	
		28/02/2021	42	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[42;123)	6	6	82,5
[123;204)	10	16	163,5
[204;285)	7	23	244,5
[285;366)	2	25	325,5
[366;447)	2	27	406,5
[447;528]	1	28	487,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[42;123)	6
[123;204)	10
[204;285)	7
[285;366)	2
[366;447)	2
[447;528]	1

Fuente: Autores.

Anexo 37. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 4:30 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
20	16:30	01/02/2021	103	Valor mínimo: 36
		02/02/2021	149	Valor máximo: 382
		03/02/2021	252	Rango (R): 346
		04/02/2021	78	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	155	Amplitud (Tc): 57,67 ≈ 58
		06/02/2021	127	
		07/02/2021	116	
		08/02/2021	100	
		09/02/2021	126	
		10/02/2021	356	
		11/02/2021	297	
		12/02/2021	183	
		13/02/2021	205	
		14/02/2021	92	
		15/02/2021	182	
		16/02/2021	159	
		17/02/2021	129	
		18/02/2021	143	
		19/02/2021	74	
		20/02/2021	145	
		21/02/2021	382	
		22/02/2021	120	
		23/02/2021	75	
		24/02/2021	102	
		25/02/2021	341	
		26/02/2021	129	
		27/02/2021	78	
		28/02/2021	36	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[36;94)	6	6	65
[94;152)	12	18	123
[152;210)	5	23	181
[210;268)	1	24	239
[268;326)	1	25	297
[326;384]	3	28	355
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[36;94)	6
[94;152)	12
[152;210)	5
[210;268)	1
[268;326)	1
[326;384]	3

Fuente: Autores.

Anexo 38. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 5:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
21	17:00	01/02/2021	139	Valor mínimo: 32
		02/02/2021	96	Valor máximo: 329
		03/02/2021	185	Rango (R): 297
		04/02/2021	62	Número de intervalos (Nc): 5,81 ≈ 6
		05/02/2021	102	Amplitud (Tc): 49,50 ≈ 50
		06/02/2021	129	
		07/02/2021	134	
		08/02/2021	78	
		09/02/2021	59	
		10/02/2021	76	
		11/02/2021	211	
		12/02/2021	107	
		13/02/2021	131	
		14/02/2021	104	
		15/02/2021	137	
		16/02/2021	133	
		17/02/2021	154	
		18/02/2021	135	
		19/02/2021	68	
		20/02/2021	134	
		21/02/2021	329	
		22/02/2021	32	
		23/02/2021	51	
		24/02/2021	53	
		25/02/2021	152	
		26/02/2021	63	
		27/02/2021	96	
		28/02/2021	46	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[32;82)	10	10	57
[82;132)	7	17	107
[132;182)	8	25	157
[182;232)	2	27	207
[232;282)	0	27	257
[282;332]	1	28	307
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia Absoluta
[32;82)	10
[82;132)	7
[132;182)	8
[182;232)	2
[232;282)	0
[282;332]	1

Fuente: Autores.

Anexo 39. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 5:30 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021				
Lugar: Finca "La Cordillera"				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
22	17:30	01/02/2021	130	Valor mínimo
		02/02/2021	88	Valor máximo
		03/02/2021	130	Rango (R)
		04/02/2021	23	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2021	33	Amplitud (Tc)
		06/02/2021	92	
		07/02/2021	88	
		08/02/2021	20	
		09/02/2021	50	
		10/02/2021	94	
		11/02/2021	191	
		12/02/2021	74	
		13/02/2021	48	
		14/02/2021	56	
		15/02/2021	51	
		16/02/2021	202	
		17/02/2021	64	
		18/02/2021	101	
		19/02/2021	60	
		20/02/2021	81	
		21/02/2021	103	
		22/02/2021	19	
		23/02/2021	61	
		24/02/2021	67	
		25/02/2021	94	
		26/02/2021	22	
		27/02/2021	73	
		28/02/2021	23	

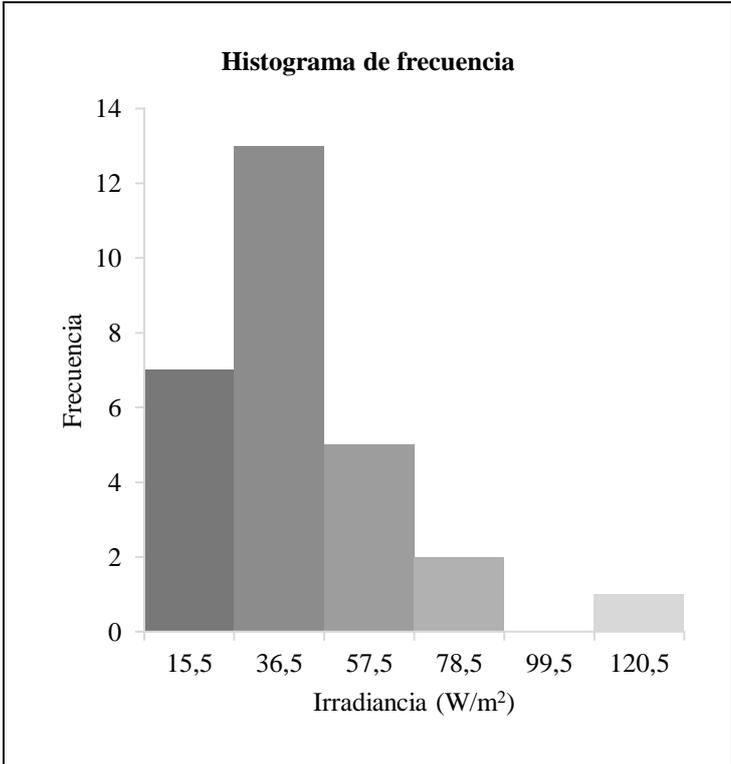
Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[19;50)	7	7	34,5
[50;81)	9	16	65,5
[81;112)	8	24	96,5
[112;143)	2	26	127,5
[143;174)	0	26	158,5
[174;205]	2	28	189,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Autores.

Anexo 40. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 6:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021																																										
Lugar: Finca "La Cordillera"																																										
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)																																							
23	18:00	01/02/2021	42	Valor mínimo																																						
		02/02/2021	38	Valor máximo																																						
		03/02/2021	72	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)																																					
		04/02/2021	17	Amplitud (Tc)																																						
		05/02/2021	42	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia absoluta</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Intervalos de clase</td> <td>f_i</td> <td>F_i</td> <td>X_i</td> </tr> <tr> <td>[5;26)</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>15,5</td> </tr> <tr> <td>[26;47)</td> <td>13</td> <td>20</td> <td>36,5</td> </tr> <tr> <td>[47;68)</td> <td>5</td> <td>25</td> <td>57,5</td> </tr> <tr> <td>[68;89)</td> <td>2</td> <td>27</td> <td>78,5</td> </tr> <tr> <td>[89;110)</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>99,5</td> </tr> <tr> <td>[110;131]</td> <td>1</td> <td>28</td> <td>120,5</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[5;26)	7	7	15,5	[26;47)	13	20	36,5	[47;68)	5	25	57,5	[68;89)	2	27	78,5	[89;110)	0	27	99,5	[110;131]	1	28	120,5	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase																																					
		Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i																																					
		[5;26)	7	7	15,5																																					
		[26;47)	13	20	36,5																																					
		[47;68)	5	25	57,5																																					
		[68;89)	2	27	78,5																																					
		[89;110)	0	27	99,5																																					
		[110;131]	1	28	120,5																																					
		Total	28																																							
		06/02/2021	51																																							
		07/02/2021	77																																							
		08/02/2021	5																																							
		09/02/2021	17																																							
		10/02/2021	29																																							
		11/02/2021	60																																							
		12/02/2021	52																																							
		13/02/2021	50																																							
		14/02/2021	39																																							
		15/02/2021	25																																							
		16/02/2021	127																																							
		17/02/2021	34																																							
		18/02/2021	57																																							
		19/02/2021	31																																							
20/02/2021	25																																									
21/02/2021	40																																									
22/02/2021	16																																									
23/02/2021	40																																									
24/02/2021	39																																									
25/02/2021	32																																									
26/02/2021	37																																									
27/02/2021	27																																									
28/02/2021	10																																									



Fuente: Autores.

Anexo 41. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 6:30 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021					
Lugar: Finca "La Cordillera"					
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)		
24	18:30	01/02/2021	9	Valor mínimo	
		02/02/2021	8	Valor máximo	
		03/02/2021	33	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)
		04/02/2021	11	Amplitud (Tc)	
		05/02/2021	12		
		06/02/2021	16		
		07/02/2021	33		
		08/02/2021	3		
		09/02/2021	3		
		10/02/2021	18		
		11/02/2021	20		
		12/02/2021	19		
		13/02/2021	8		
		14/02/2021	10		
		15/02/2021	12		
		16/02/2021	18		
		17/02/2021	16		
		18/02/2021	11		
		19/02/2021	9		
		20/02/2021	12		
		21/02/2021	9		
		22/02/2021	6		
		23/02/2021	4		
		24/02/2021	14		
		25/02/2021	10		
		26/02/2021	10		
		27/02/2021	14		
		28/02/2021	6		

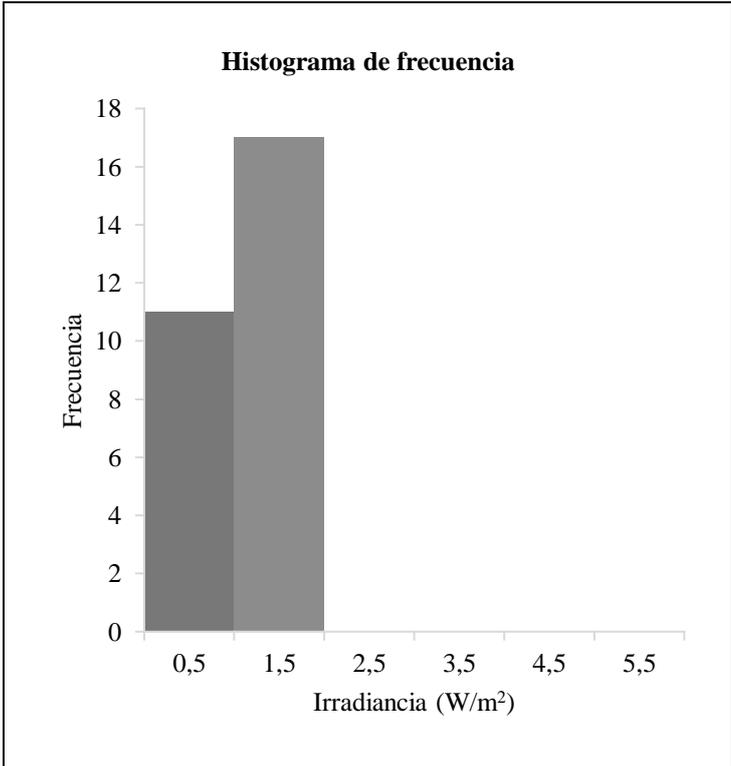
Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[3;8)	5	5	5,5
[8;13)	13	18	10,5
[13;18)	4	22	15,5
[18;23)	4	26	20,5
[23;28)	0	26	25,5
[28;33]	2	28	30,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Autores.

Anexo 42. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2021 a las 7:00 pm de la finca "La Cordillera".

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2021																																													
Lugar: Finca "La Cordillera"																																													
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																					
25	19:00	01/02/2021	1	0	1	6	5,81 ≈ 6	0,17 ≈ 1																																					
		02/02/2021	1																																										
		03/02/2021	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia absoluta</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[0;1)</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>[1;2)</td> <td>17</td> <td>28</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>[2;3)</td> <td>0</td> <td>28</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>[3;4)</td> <td>0</td> <td>28</td> <td>3,5</td> </tr> <tr> <td>[4;5)</td> <td>0</td> <td>28</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>[5;6]</td> <td>0</td> <td>28</td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[0;1)	11	11	0,5	[1;2)	17	28	1,5	[2;3)	0	28	2,5	[3;4)	0	28	3,5	[4;5)	0	28	4,5	[5;6]	0	28	5,5	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Marca de clase																																								
		Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i																																								
		[0;1)	11	11	0,5																																								
		[1;2)	17	28	1,5																																								
		[2;3)	0	28	2,5																																								
		[3;4)	0	28	3,5																																								
		[4;5)	0	28	4,5																																								
		[5;6]	0	28	5,5																																								
		Total	28																																										
		04/02/2021	1																																										
		05/02/2021	0																																										
		06/02/2021	0																																										
		07/02/2021	1																																										
		08/02/2021	0																																										
		09/02/2021	0																																										
		10/02/2021	1																																										
		11/02/2021	1																																										
		12/02/2021	0																																										
		13/02/2021	1																																										
		14/02/2021	1																																										
		15/02/2021	1																																										
		16/02/2021	1																																										
		17/02/2021	1																																										
		18/02/2021	1																																										
		19/02/2021	1																																										
20/02/2021	0																																												
21/02/2021	1																																												
22/02/2021	0																																												
23/02/2021	0																																												
24/02/2021	1																																												
25/02/2021	1																																												
26/02/2021	0																																												
27/02/2021	0																																												
28/02/2021	0																																												



Fuente: Autores.