

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**“Análisis de costo beneficio en la implementación de un sistema de
iluminación LED en la zona de filtrados ubicado en planta
concentradora de una unidad minera en el Perú”**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

AUTORES:

José Gabriel Echevarría Matos
Gerald Antonio Anaya Maccha

ASESOR:

Adolfo Pillihuamán Zambrano

Lima, Junio, 2022

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación se realizó en una compañía minera en el Perú, precisamente en el área de filtrados de la planta concentradora y tiene como punto de partida una propuesta de mejora tanto para el área de mantenimiento eléctrico y para el departamento de logística.

A través de la buena práctica sobre la gestión de las adquisiciones de bienes y servicios se buscó tratar de optimizar las compras tanto para mina y planta concentradora, después de varios análisis se determinó que no era óptimo la manera como se venía suministrando los materiales de ferretería y consumibles eléctricos, por ello se pensó rediseñar la planificación de compras donde se pueda obtener mejores condiciones comerciales en precios, tiempo de entrega y calidad para cumplir con las expectativas de los usuarios finales. Para ello se decidió trabajar el comportamiento de uno de los materiales que frecuentemente se compran, los reflectores de halogenuro metálico 400W 220V.

El problema principal de los reflectores de 400 W es que actualmente no son los óptimos para los trabajos que se realizan en la zona de filtrados debido a que su rendimiento es muy bajo, los consumibles tienden a malograrse rápido por ser muy frágiles y no pueden funcionar por separado, consumen mucho tiempo operativo al instalarlos, y además en muchas unidades mineras ya se encuentran obsoletas.

Uno de los objetivos del área de la cadena de suministros es innovar sus compras con los últimos adelantos de la tecnología, que puedan facilitar el trabajo del área usuaria comprometiendo responsabilidad con el medio

ambiente; por ello, se evaluó el posible reemplazo de las luminarias tradicionales por unas luminarias LED de 200 W.

Para poder medir los indicadores que nos permitan evaluar si es conveniente el cambio, es necesario realizar una prueba piloto en el área de investigación en donde se realice un estudio de calidad de energía, para luego diseñar la cantidad de las luminarias óptimas en un software llamado Dialux.

Al final del presente trabajo de investigación se determinará el costo beneficio que implica poder reemplazar las luminarias de halogenuro metálico de 400W por unas luminarias LED de 200W en la zona de filtrados de la planta concentradora de la compañía minera, presentando resultados basados en costos de energía, costos de reposición del kit de mantenimiento, costos de mano de obra de mantenimiento, ahorro y el retorno del capital.

En adición a estos resultados se podrá hacer proyecciones para el cambio total de luminarias de halogenuro de 400 W que se tiene actualmente en planta concentradora y en mina, demostrando de esta forma el ahorro económico que se ganaría cambiando el tipo de luminaria y los beneficios que traen para las áreas estratégicas y operativas, además de reducir el consumo de energía promoviendo un trabajo de investigación que apoya al medio ambiente.

Palabras clave: LED, consumibles eléctricos, reflectores de halogenuro, Dialux, retorno de capital, calidad de energía.

ABSTRACT

The following research work was carried out in a mining company in Peru, precisely in the filtering area of the concentrator plant and has as its starting point a proposal for improvement both for the electrical maintenance area and for the logistics department.

Through good practice on the management of purchases of goods and services, we sought to optimize purchases for both mine and concentrator, after several analyzes it was determined that the way in which the hardware materials were supplied was not optimal and electrical consumables, so it was thought to redesign the purchase planning where you can obtain better commercial conditions in prices, delivery time and quality to meet the expectations of the end users. For this, it was decided to work on the behavior of one of the materials that are frequently purchased, the 400W 220V metal halide reflectors.

The main problem of 400 W reflectors is that they are currently not optimal for the work carried out in the filtration zone because their performance is very low, consumables tend to spoil quickly because they are very fragile and cannot work separately, they consume a lot of operational time when installing them, and in addition in many mining units they are already obsolete.

One of the objectives of the supply chain area is to innovate its purchases with the latest advances in technology, which can facilitate the work of the user area by committing responsibility to the environment; Therefore, the possible replacement of traditional luminaires with 200 W LED luminaires was evaluated.

In order to measure the indicators that allow us to assess whether the change is convenient, it is necessary to conduct a pilot test in the research area where a study of energy quality is carried out, then design the quantity of the optimal luminaires in a software called Dialux

At the end of this research work, the cost benefit involved in replacing 400W metal halide luminaires with 200W LED luminaires in the filtration area of the mining company's concentrator plant will be determined, presenting results based on energy costs, maintenance kit replacement costs, maintenance labor costs, savings and capital return.

In addition to these results, it will be possible to make projections for the total change of 400 W halide luminaires currently in the concentrator plant and in the mine, thus demonstrating the economic savings that would be gained by changing the type of luminaire and the benefits that they bring to the strategic and operational areas, in addition to reducing energy consumption by promoting research work that supports the environment.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por la gran oportunidad de permitirnos formarnos profesionalmente en una de las universidades más prestigiosas del país y a nuestros familiares que nunca dejaron de darnos su amor incondicional ante cualquier adversidad que pasamos en el transcurso del camino por conseguir el título.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
1. ANTECEDENTES.....	10
1.1..Hipótesis.....	11
1.2..Objetivos	12
1.2.1 Objetivo General.....	12
2. ESTADO DEL ARTE	13
2.1 Calidad de energía	14
2.1.1 Indicadores de calidad de energía	16
2.1.1.1 Frecuencia.....	16
2.1.1.2 Corriente eléctrica	16
2.1.1.3 Potencial eléctrico	16
2.1.1.3.1 Potencia activa	17
2.1.1.3.2 Potencia reactiva	17
2.1.1.3.3 Potencia aparente	17
2.1.1.3.4 Factor de potencia.....	18
2.1.1.4 Tasa de distorsión armónica THD	18
2.1.1.5 Valor RMS de las armónicas	19
2.1.1.6 Modelo de cargas en un sistema eléctrico.....	19
2.1.1.6.1 Modelo de cargas lineales	19
2.1.1.6.2 Modelo de cargas no lineales	20
2.1.1.7 Distorsión de la forma de onda.....	21
2.1.1.7.1 Armónicos.....	21
2.1.1.7.2 Fluctuación de tensión.....	22
2.1.1.7.3 Fluctuación de tensión: Flicker	23
2.1.1.7.4 Tolerancia para Flicker en el voltaje	25
2.2 Equipos electrónicos utilizados en prueba piloto.....	25
2.2.1 Analizador de redes.....	25
2.2.2 Transformador de 50 KVA	26
2.2.3 Reflector contemplo L sim HPI-T 400 W C/equipo C/lámpara ...	26
2.2.4 Luminaria LED campana negra IP – 65 100 – 240 - 200 W 110° HIGHBAY.....	28
2.3 Luminotecnia.....	28

2.3.1	Fenómenos de la luz.....	29
2.3.1.1	Reflexión.....	29
2.3.1.2	Refracción	30
2.3.1.3	Difracción.....	30
2.3.1.4	Transmisión.....	31
2.3.1.5	Absorción.....	32
2.3.1.6	Polarización	32
2.3.2	Dialux.....	32
2.4	Tecnología LED.....	33
2.4.1	El Chip.....	35
2.4.2	Disipador de calor.....	35
2.4.3	Driver.....	35
2.4.4	Placa base.....	36
2.4.5	Óptica secundaria.....	36
2.5	Normativa	37
2.5.1	Decreto supremo N°020-97-EM.....	37
2.5.2	Normativa técnica de calidad de servicios eléctricos (NTCSE)..	38
2.5.3	Tolerancias a la norma	39
2.5.4	Norma IEEE	40
2.5.5	DGE 017 – AI – 1/1982 – Norma del alumbrado de interiores y campos deportivos.....	41
2.6	Indicadores Financieros	45
2.6.1	Tasa interna de retorno (TIR).....	45
2.6.2	Valor actual neto (VAN)	46
2.6.3	Periodo de recuperación (PAYBACK).....	46
3.	METODOLOGÍA.....	47
3.1.	El estudio de calidad de energía	49
3.2.	El uso del Software DIALUX.....	50
4.	PARTE EXPERIMENTAL	51
4.1.	Prueba piloto.....	51
4.1.1.	Análisis de Calidad de energía	51
4.1.2.	Consideraciones del análisis	52
4.1.2.1.	Procedimiento Experimental	55
4.1.3.	Resultados de las mediciones realizadas.....	56
5.	RESULTADOS	69
5.1.	Situación Actual	74
5.2.	Propuesta	77
5.3.	Análisis económico	82
5.3.1.	Costo de Energía	82

5.3.2. Costo de Inversión	83
5.3.3. Costo de Mantenimiento	84
5.4. Economía Energética.....	85
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	86
6.1. Flujo de caja	86
6.2. PAYBACK o retorno.....	88
7. PROYECCIÓN.....	90
7.1. Planta.....	90
7.1.1. Costo de energía	90
7.1.2. Costo de inversión	91
7.1.3. Costo de mantenimiento	92
7.1.4. Flujo de caja	93
7.1.5. PAYBACK o retorno	94
7.2. Mina.....	95
7.2.1. Costo de energía	95
7.2.2. Costo de inversión	96
7.2.3. Costo de mantenimiento	97
7.2.4. Flujo de caja	98
7.2.5. Payback o retorno.....	99
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de la corriente en un plano limitado	16
Figura 2. Ilustración vectorial del trabajo realizado por una partícula	17
Figura 3. Potencias expresadas en vectores	18
Figura 4. Cargas lineales	19
Figura 5. Cargas no lineales	20
Figura 6. Distorsión de una onda fundamental por armónicos	22
Figura 7. Curva de espectro de fluctuación de tensión	23
Figura 8. Características Principales de un Analizador de Redes.....	26
Figura 9. Reflector de halogenuro 400W – lámpara de halogenuro 400W	27
Figura 10. Luminaria LED campana 200W	28
Figura 11. Reflexión de la luz.....	29
Figura 12. Red de difracción	31
Figura 13. Partes de lámpara LED.....	37
Figura 14. Flujo de la categoría de iluminación (DGE 017-AI-1/1982)	42
Figura 15. Diagrama unifilar Planta concentradora	51
Figura 16: Tensión L-L – Filtrado	56
Figura 17: Corrientes – Filtrado.....	57
Figura 18: Potencia activa y reactiva – Filtrado.....	58
Figura 19: Potencia aparente – Filtrado	60
Figura 20: Factor de potencia – Filtrado	61
Figura 21: Frecuencia – Filtrado	62
Figura 22: THD tensión – Filtrado	63
Figura 23: Armónicos Individuales – Filtrado	64
Figura 24: Energías – Filtrado.....	66
Figura 25: Flicker – Filtrado.....	67
Figura 26: Fotografía N°1 Zona de filtrados	72
Figura 27. Fotografía N°2 Zona de filtrados	72
Figura 28: Fotografía N°3 Zona de filtrados	73
Figura 29. Plano de ubicación de equipos de iluminación en zona de filtrados	73
Figura 30: Corte longitudinal en zona de filtrados	74
Figura 31: Diagrama Isolux – niveles de luz – Situación actual	75
Figura 32. Distribución fotométrica del reflector halogenuro	76
Figura 33. Plano de corte de superficie de cálculo en situación actual	76
Figura 34: Zona de investigación procesado en 3D situación actual	77
Figura 35: Diagrama Isolux – niveles de luz – Propuesta mejora	78

Figura 36: Distribución fotométrica del equipo LED (Prueba Piloto SONEPAR)	79
Figura 37. Plano de corte de superficie de cálculo en propuesta de mejora	79
Figura 38: Zona de investigación procesada en 3D propuesta de mejora	80
Figura 39: Zona de investigación procesada en 3D (Falsos colores) propuesta de mejora	80
Figura 40: Flujo de caja	87
Figura 41: Payback	88
Figura 42: Flujo de caja planta	94
Figura 43: Payback de la proyección en planta	94
Figura 44: Flujo de caja mina	99
Figura 45: Payback de la proyección en mina	99



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías de iluminación y valores de iluminación para tipos genéricos de actividades en interiores (DGE 017-AI-1/1982)	43
Tabla 2: Valores de iluminación nominal recomendable para interiores en general (DGE 017-AI-1/1982).....	44
Tabla 3: Consumo de reflector halogenuro 400W en los años 2017 y 2018	47
Tabla 4: Ventajas y desventajas del reflector 400W y LED 200W	48
Tabla 5: Límites de distorsión de tensión – NTCSE.....	54
Tabla 6: Valores mínimos y máximos de la gráfica de tensión – NTCSE	57
Tabla 7: Valores mínimos y máximos de la gráfica de corrientes – NTCSE	58
Tabla 8: Valores mínimos y máximos de la gráfica de potencia activa y reactiva – NTCSE.....	59
Tabla 9: Valores mínimos y máximos de la gráfica de potencia aparente – NTCSE	61
Tabla 10: Valores mínimos y máximos de la gráfica factor de potencia – NTCSE	62
Tabla 11: Valores mínimos y máximos de la gráfica frecuencia – NTCSE	63
Tabla 12: Valores mínimos y máximos de la gráfica THD tensión – NTCSE	65
Tabla 13: Valores mínimos y máximos de la gráfica Armónicos individuales – NTCSE.....	65
Tabla 14: Valores mínimos y máximos de la gráfica Energías – NTCSE.....	67
Tabla 15: Valores mínimos y máximos de la gráfica Flicker – NTCSE	68
Tabla 16: Cuadro resumen de las mediciones	69
Tabla 17: Valores promedios armónicos.....	70
Tabla 18: Valores de luxes generados en Dialux para situación actual	75
Tabla 19: Lista de superficies de cálculo en situación actual.....	76
Tabla 20: Resumen de los resultados en situación actual	77
Tabla 21: Valores de luxes generados en Dialux en propuesta de mejora	78
Tabla 22: Lista de superficies de cálculo en propuesta de mejora.....	79
Tabla 23: Resumen de los resultados en propuesta de mejora	80
Tabla 24: Cuadro comparativo entre los resultados de situación actual frente a propuesta de mejora	81
Tabla 25: Comparación del consumo de energía del HIGH BAY HPI 400W Vs HIGH BAY LED 200W	83
Tabla 26: Comparación del costo de inversión de cada luminaria.....	84
Tabla 27: Precio de los componentes del kit.....	84
Tabla 28: Cuadro comparativo de los costos de mantenimiento de cada luminaria.....	85

Tabla 29: Comparación de la economía energética.....	85
Tabla 30: Entradas y salidas de dinero proyectados a 6 años.....	87
Tabla 31: TIR y VAN del proyecto.....	87
Tabla 32: Comparación del consumo de energía del HIGH BAY HPI 400W vs HIGH BAY LED 200W	91
Tabla 33: Comparación del costo de inversión de cada luminaria.....	91
Tabla 34: Cuadro comparativo de los costos de mantenimiento de cada luminaria.....	92
Tabla 35: Comparación del ahorro total generado por la luminaria LED.....	93
Tabla 36: Entradas y salidas de dinero proyectados a 6 años para planta	93
Tabla 37: TIR y VAN de la proyección en planta.....	93
Tabla 38: Cuadro comparativo entre el consumo de energía del HIGH BAY HPI 400W – HIGH BAY LED 200W	96
Tabla 39: Cuadro comparativo entre del costo de inversión de cada luminaria.	96
Tabla 40. Comparación de los costos de mantenimiento de cada luminaria.	97
Tabla 41: Comparación del ahorro total generado por la luminaria LED.....	98
Tabla 42: Entradas y salidas de dinero proyectados a 6 años para planta	98
Tabla 43: TIR y VAN de la proyección en planta.....	98

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el Perú cuenta con una gran cartera de proyectos mineros que estima aumentar la producción de los minerales que más se comercializa en el territorio nacional, si bien la ejecución de las actividades extractivas conlleva a procedimientos complejos de realizar el mayor porcentaje de ellos requieren de un gran consumo de energía.

Según el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP) el consumo de energía en el sector minero se triplicó en los últimos 10 años, posicionándolo en el primer puesto como el consumidor más grande de electricidad en el Perú.

El consumo de energía es elevado en una compañía minera debido al trabajo forzado que se requiere para cumplir con la meta de producción, por lo general diversos equipos están operando las 24 horas sin parar. Por ello es considerado como uno de los principales costos en una organización.

Es importante para las empresas mineras tratar de reducir sus costos para tener un mayor margen de rentabilidad, por ello sus diversas áreas de trabajo se ven en la necesidad de plantear estrategias que permitan integrar los procedimientos bajo el mismo enfoque.

El departamento de logística es una de las áreas estratégicas que una organización tiene para mantener un buen control sobre el dinero que se tiene

presupuestado para sus diversas compras de consumibles y activos que generen un gasto para sus diversos centros de costos y proyectos. Además, tiene la responsabilidad de amortizar los principales costos de la empresa tratando de buscar soluciones a problemas que cubran el alcance del área usuaria.

Una alternativa que se está tomando actualmente para poder reducir el consumo de energía es el uso de la tecnología LED, la cual en primera instancia supone un gasto innecesario por el precio elevado que tiene frente a las luminarias tradicionales; sin embargo, viendo el panorama a largo plazo resultaría ser una opción que presente mayores beneficios con soluciones a problemas presentados que involucren costos directos e indirectos.

Hoy en día muchas empresas mineras están migrando a la tecnología LED debido a los resultados de los análisis que realiza el área de compras en colaboración con su respectiva área operativa y el soporte de los diversos proveedores que innovan estos productos consiguiendo resultados de gran impacto que mejoran el flujo de compras y reducen costos bajo un buen sustento económico que cumpla la normativa ejercida por las entidades fiscalizadoras.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES

La minería en el Perú, durante su historia ha generado muy pocos avances tecnológicos en comparación con los demás países latinoamericanos mineros. Esto ocasiona, ineficiencia en sus operaciones, más trabajo de mantenimiento e impacto en el medio ambiente, lo que se traduce a mayor costo por tonelada.

Actualmente la unidad minera donde se realizó el presente trabajo de investigación produce 6,000 TMD y una de sus áreas críticas en la planta concentradora es la zona de filtros de concentrados de minerales.

La iluminación en esta zona carece de una buena distribución de lúmenes generados por los reflectores de halogenuro que usualmente se reponen (400W 220V) produciendo fatiga en los trabajadores. Por otro lado, el área de compras determinó que este producto es muy frecuente en sus requerimientos y prácticamente no duran mucho tiempo debido a la magnitud del trabajo que son utilizados por el desgaste de las piezas internas que lo conforman. Además, el consumo de energía es alto frente a la utilización de luminarias LED que tienen un tiempo de vida mayor.

El avance de la tecnología es un factor a considerar en la compra de bienes y servicios ya que la adquisición de éstas podría generar una mejora en

procesos operativos y ahorros de costos teniendo resultados favorables para la organización.

En este sentido, se observó que los avances en consumo de energía son muy escasos: por lo que, en este trabajo de investigación se evalúa si implementar un sistema de iluminación LED en una zona repercute en beneficio económico y ambiental.

El presente estudio evaluará dos escenarios de abastecimiento que tienen como fin poder mejorar la iluminación de una unidad minera en sus puntos de trabajo más críticos considerando optimizar los recursos con los que se cuenta actualmente, mientras que la primera alternativa presenta una gestión presente de la compra de reflectores la segunda opción nos muestra la implementación de tecnología LED, para ello se demostrará mediante un análisis estratégico a través de una prueba piloto los criterios que se deben de tener en cuenta previo a un análisis costo beneficio que pueda representar una mejora para el departamento de logística.

El problema presentado anteriormente promueve la necesidad de evaluar si realmente sería conveniente hacer un replanteo de las compras de luminarias en toda la unidad minera y ver qué tan factible sería tomar una decisión en base a resultados plasmados en indicadores financieros.

1.1 Hipótesis

Es posible generar mayor rentabilidad en la compañía minera mediante la implementación de luminarias LED a través de una prueba piloto realizado en una parte de la unidad minera.

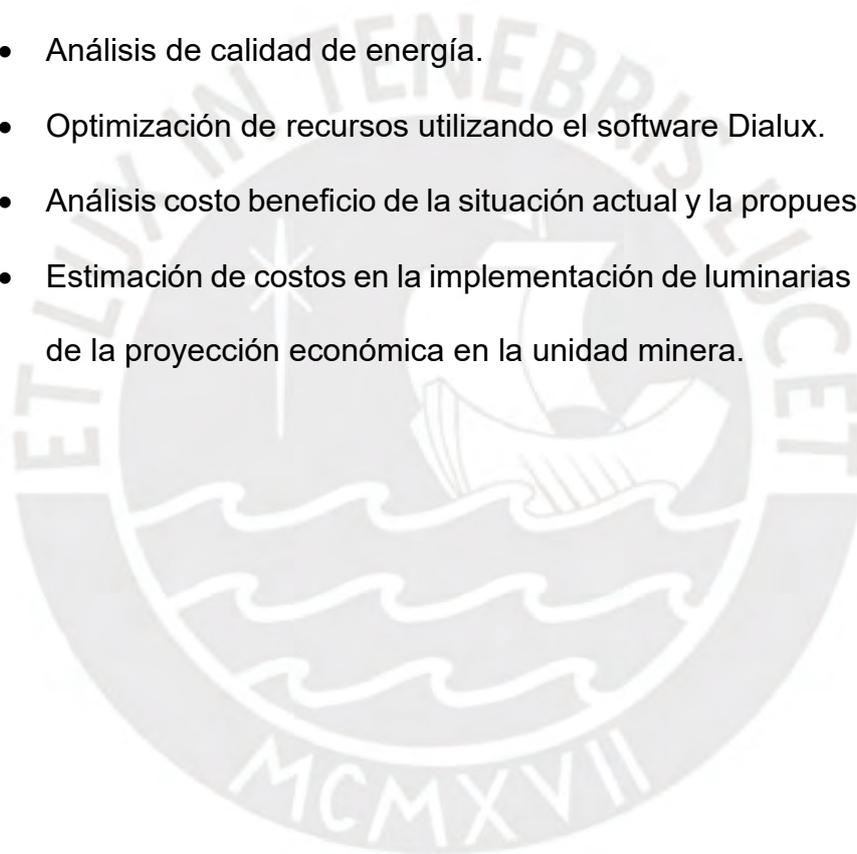
1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Análisis de costo beneficio en la implementación de un sistema de iluminación LED en la zona de filtrados de una planta concentradora

1.2.2 Objetivos Específicos

- Análisis de calidad de energía.
- Optimización de recursos utilizando el software Dialux.
- Análisis costo beneficio de la situación actual y la propuesta de mejora.
- Estimación de costos en la implementación de luminarias LED a través de la proyección económica en la unidad minera.



CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

Cayllagua (2015) demuestra que con la implementación de pantallas LED Hypalume se consigue reducir las horas muertas ocasionadas por la neblina, logrando una ganancia de un millón y medio anual por producción, más el ahorro por consumo de combustible.

Rios (2019) concluye que mediante el uso de tecnología LED en los talleres de mantenimiento, es posible reducir significativamente los costos anuales de energía que representa un 59% del costo total.

Ticona (2015) concluye que con la implementación de un sistema de lámpara basado en tecnología LED, ofrece un mejor flujo luminoso, debido a que tiene un mayor ángulo de vista y una luminosidad suficiente para cumplir con las normas.

Castro (2015) muestra la iluminación de luminarias LED en diferentes ambientes, considerando la naturaleza de trabajo, la reflectancia del objeto y su entorno inmediato. En este estudio, se utiliza el simulador Dialux para apreciar los resultados luminotécnicos en un ambiente. Finalmente se concluye que las luminarias a pesar de la inversión inicial elevada, éstas generan un ahorro de energía, y por ende un ahorro económico.

Benjumea (2009) demuestra cuáles son los beneficios económicos y ambientales de implementar un nuevo sistema de iluminación pública LED, calculándose el número de luminarias necesarias, con el software Dialux, de acuerdo al diseño de la vía. Luego, se analizó el ahorro energético y económico mediante un análisis financiero el cual fue proyectado a veinte años. Finalmente, se concluye que el consumo energético se reducirá en un 50% y esto quiere decir que se utilizarán y conservarán mejor los recursos.

2.1 Calidad de energía

El avance tecnológico alcanzado en la actualidad es debido principalmente a la incorporación masiva de componentes basados en electrónica de potencia logrando así mejorar la eficiencia de los equipos y por ende de los procesos industriales. Toda acción trae una reacción en la repercusión en un sistema de potencia del uso de equipamiento electrónico (cargas no lineales) las cuales son apariciones de señales de corrientes cuyas frecuencias son múltiplos de la componente fundamental (armónicos) que distorsionan la forma de onda de corriente y por ende la tensión en bornes de las cargas asociadas a la barra. (SONEPAR, 2018).

El concepto "Perturbaciones Eléctricas y Calidad de Energía Eléctrica" es un tema esencial el cual ha evolucionado en la última década a escala mundial, está relacionada con las perturbaciones eléctricas que pueden afectar a las condiciones eléctricas de suministro y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos y procesos. Por tal razón, se requiere un tratamiento integral del problema desde diversas fuentes. Estos comprenden entre otros, investigación

básica y aplicada, diseño, selección, operación y mantenimiento de equipos, normalización, regulación, programas de medición y evaluación, capacitación de personal, entre otros. (HOLGUIN, 2010).

La importancia de hacer un estudio de calidad de energía significa garantizar un correcto funcionamiento de los equipos que involucren cualquier carga en el sistema, como por ejemplo antes de insertar o complementar cualquier equipo nuevo se sugiere realizar un estudio de cargas para determinar que se cumpla el reglamento según la normativa, además de proporcionar seguridad al área de trabajo y garantizar una mejor prolongación al tiempo de vida del equipo por adquirir. Hoy en día es posible disgregar los montos por facturar en consumo de energía, por ello obtener datos del estudio de calidad de energía proporciona un mejor control para ahorros energéticos.

Es recomendable comprobar las lecturas con un analizador de energía. El registro de los datos proporciona un argumento de peso a la hora de comparar los datos de facturación con el consumo real de energía, una diferencia significativa entre la cantidad facturada y los datos del registrador indicarán que se debe realizar una revisión a la configuración y/o instalación del contador auxiliar (MIDEBIEN, 2019).

El término Calidad de Energía Eléctrica, nombrado CEE por sus siglas en español, es utilizado para describir una combinación de características a través de las cuales el producto y el servicio del suministro eléctrico corresponden a las expectativas del cliente. (Holguin Marco, 2010).

2.1.1 Indicadores de calidad de energía

2.1.1.1 Frecuencia

Es el número de ciclos que una onda realiza por segundo, se expresa con una “ f ” en donde una oscilación por segundo se llama 1 Hertz (Hz) (GUZMAN, 2009).

2.1.1.2 Corriente eléctrica

La corriente se define como la cantidad de carga que atraviesa una superficie limitada por unidad de tiempo. La figura 1 muestra la corriente en un plano inclinado.

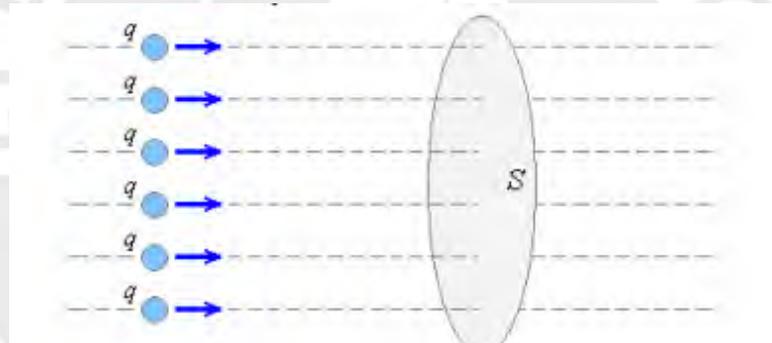


Figura 1. Ilustración de la corriente en un plano limitado
Fuente: Medina Hugo

2.1.1.3 Potencial eléctrico

El trabajo contra la fuerza eléctrica para transportar una carga a lo largo de una trayectoria con velocidad constante es igual al negativo de la componente de la fuerza eléctrica en la dirección del movimiento. (GUZMAN, 2009)

La figura 2 muestra la ilustración vectorial del trabajo realizado por una partícula.

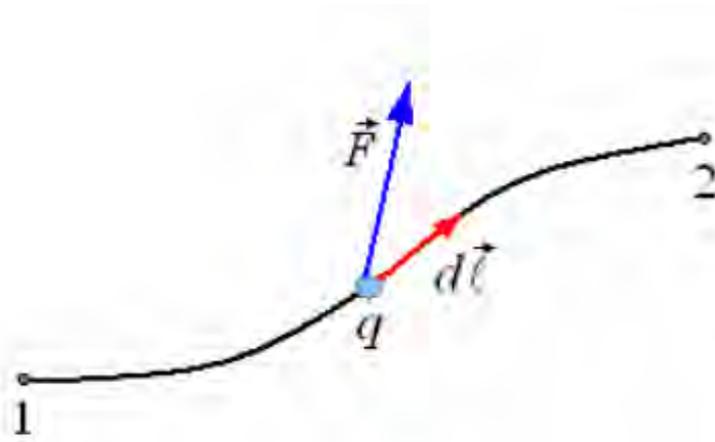


Figura 2. Ilustración vectorial del trabajo realizado por una partícula
Fuente: Medina Hugo

2.1.1.3.1 Potencia Activa

Representa la potencia útil; es decir la energía que se aprovecha cuando un equipo se encuentra funcionando en condiciones operativas normales y realiza un trabajo. Adicional a ello es la potencia que se factura en los hogares y las instalaciones de trabajo a través de los medidores de energía. (ALVAREZ, 2015)

2.1.1.3.2 Potencia Reactiva

Esta potencia no produce ningún trabajo útil y perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica, por lo general esta potencia es consumida en aparatos que poseen algún tipo de bobina o enrollado para crear un campo electromagnético. (ALVAREZ, 2015)

2.1.1.3.3 Potencia Aparente

Es la suma vectorial de la potencia activa más la potencia reactiva, es considerada como la potencia total. (ALVAREZ, 2015)

2.1.1.3.4 Factor de potencia

El factor de potencia es un valor que hace referencia a la diferencia entre la potencia útil de cualquier receptor y la potencia total necesaria para dar uso a este receptor. Si representamos la tensión y la corriente de un circuito eléctrico en un diagrama senoidal, la diferencia o desfase entre la onda senoidal que representa la tensión y la onda senoidal que representa la intensidad es el factor de potencia (ALVAREZ, 2015).

La figura 3 muestra las potencias expresadas en vectores.

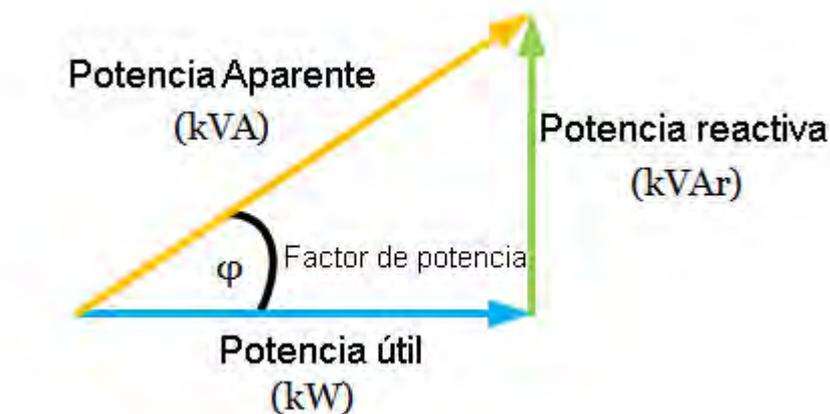


Figura 3. Potencias expresadas en vectores,

Fuente: <https://www.infootec.net/factor-de-potencia/>

2.1.1.4 Tasa de Distorsión Armónica THD

Es un indicador que nos muestra en porcentaje la proporción de los componentes no lineales con respecto a su señal a frecuencia fundamental, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_{2h}^2 + V_{3h}^2 + V_{4h}^2 + V_{5h}^2 + V_{6h}^2 + \dots + V_{nh}^2}}{V_1} \cdot 100\%$$

2.1.1.5 Valor RMS de las armónicas

Existen dos tipos de valores rms, el valor rms total y el valor rms_arm, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_{2h}^2 + V_{3h}^2 + V_{4h}^2 + V_{5h}^2 + V_{6h}^2 + \dots + V_{nh}^2}$$

$$V_{rms_arm} = \sqrt{V_{2h}^2 + V_{3h}^2 + V_{4h}^2 + V_{5h}^2 + V_{6h}^2 + \dots + V_{nh}^2}$$

2.1.1.6 Modelo de cargas en un sistema eléctrico

2.1.1.6.1 Modelo de cargas lineales

Las cargas lineales son aquellas que, al aplicar una tensión, la forma de onda de la corriente conserva la forma de onda de la tensión, con una amplitud igual o diferente, como mostrado en la figura 4.

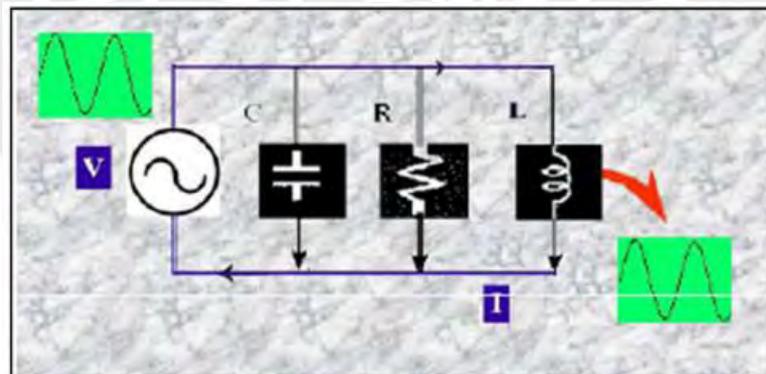


Figura 4. Cargas lineales

Fuente: SONEPAR, 2018

En general las cargas lineales se pueden modelar como circuitos R-L-C. Siendo estrictos la única carga lineal es la resistiva.

2.1.1.6.2 MODELO DE CARGAS NO LINEALES

Las cargas no lineales son aquellas a las que cuando se le aplica una tensión, la forma de onda de la corriente es diferente de la forma de onda de la tensión, como mostrado en la figura 5.

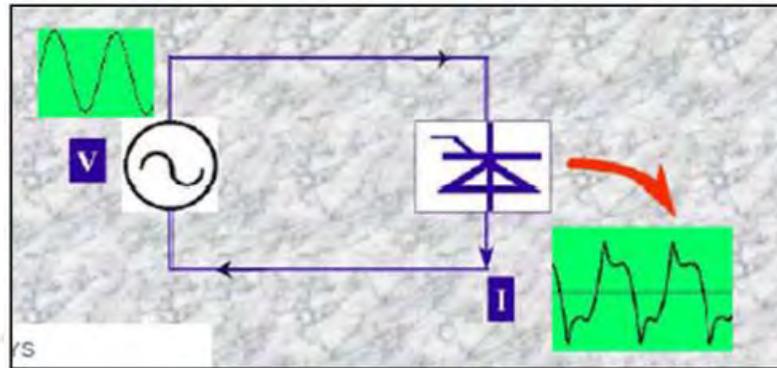


Figura 5. Cargas no lineales

Fuente: SONEPAR, 2018

En general las cargas no lineales se modelan como fuentes de corriente constantes para cada frecuencia armónica y son calculadas respecto a la corriente de la frecuencia fundamental. Teóricamente las amplitudes de las armónicas se calculan en base a las series de Fourier.

Algunas cargas no lineales que presentan armónicos característicos están basadas en dispositivos electrónicos de estado sólido. Ejemplos de estos son los equipos rectificadores, los convertidores de frecuencia, los inversores, los cicloconvertidores, los hornos de arco y los compensadores estáticos de potencia reactiva. Todos estos equipos tienen la característica común de requerir o absorber corriente del sistema que es no sinusoidal. Por lo tanto, todos ellos son gobernados por las mismas leyes básicas que permiten el análisis de su comportamiento.

2.1.1.7 Distorsión de la forma de onda

Las perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia son ocurrencias manifestadas en desviaciones de voltaje, corriente o frecuencia que ocasione fallas o salidas de operación de los equipos eléctricos (DUGAN, 1996)

La distorsión de la forma de onda es un desvío, en régimen permanente de la forma de onda de corriente o tensión en relación a la señal sinusoidal pura. (HOLGUIN, 2010)

2.1.1.7.1 Armónicos

Se conoce como distorsión armónica a la deformación de la onda de su característica sinusoidal pura original. Un análisis matemático (Fourier) de ondas distorsionadas por cargas no lineales muestra que ellas están compuestas de la onda seno fundamental, además de una o más ondas con una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. (HOLGUIN, 2010)

Las formas de onda no sensoriales consisten de un número finito de ondas seno puras de diferentes frecuencias. En la figura 6 se muestra la combinación de una forma de onda de voltaje senoidal y una forma de onda de 3er armónico la cual crea una forma de onda armónicamente distorsionada.

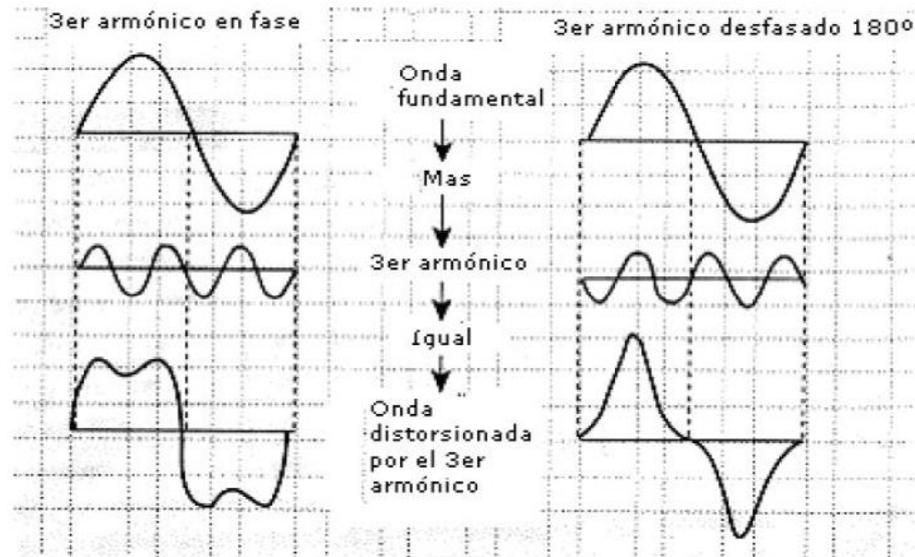


Figura 6. Distorsión de una onda fundamental por armónicos

Fuente: www.elprisma.com

2.1.1.7.2 Fluctuación de Tensión

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del perfil de la tensión o una serie de variaciones aleatorias de la magnitud de la tensión, las cuales normalmente exceden el límite especificado de 0.95 a 1.05 [p.u].

El flicker o parpadeo de la luz se define como “impresión subjetiva de fluctuación de la luminancia”. Es un fenómeno de origen fisiológico visual que sufren los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común a iluminación y a una carga perturbadora.

Normalmente las variaciones de tensión que provocan el flicker poseen una amplitud inferior a 1% y la frecuencia de ocurrencia de falla de 0 a 30 Hz.

La molestia del parpadeo se pone de manifiesto en las lámparas de baja tensión. Por el contrario, las cargas perturbadoras pueden encontrarse

conectadas a cualquier nivel de tensión. En el origen de este fenómeno están las fluctuaciones bruscas de la tensión de red.

Principalmente el flicker es el resultado de fluctuaciones rápidas de pequeña amplitud de la tensión de alimentación, provocadas por la variación fluctuante de potencia que absorben diversos receptores: hornos de arco, máquinas de soldar, motores, etc. Por la alimentación o desconexión de cargas importantes: arranque de motores, maniobra de baterías de condensadores, etc. (HOLGUIN, 2010). La figura 7 muestra la curva de espectro de fluctuación de tensión.

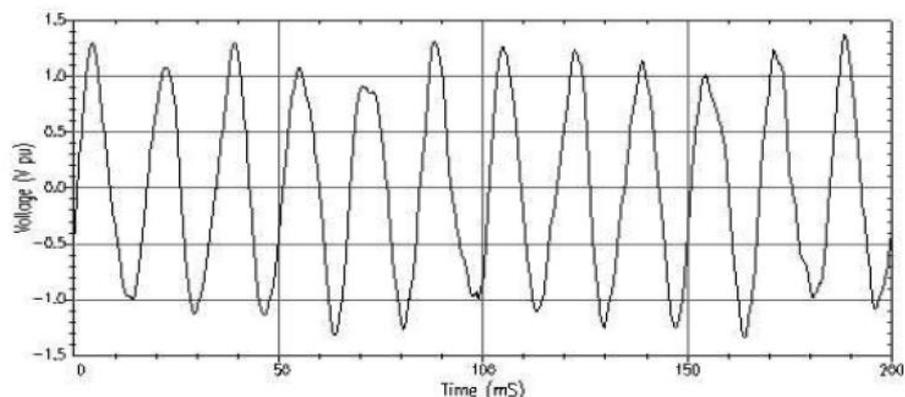


Figura 7: Curva de espectro de fluctuación de tensión

Fuente: www.elprisma.com

2.1.1.7.2.1 Fluctuación de tensión: Flicker

Se define como Flicker o parpadeo a una variación rápida y cíclica del Voltaje, que causa una fluctuación correspondiente en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.

Umbral de irritabilidad del Flicker: Fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Índice de severidad del Flicker de corta duración (Pst).

Índice que evalúa la severidad del Flicker en cortos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 10 minutos) Se considera Pst = 1 como el umbral de irritabilidad.

Índice de severidad del Flicker de larga duración (Plt): Índice que evalúa la severidad del Flicker en largos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 2 horas), teniendo en cuenta los sucesivos valores del índice de severidad del Flicker de corta duración según la siguiente expresión:

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

Nivel de referencia: Se define como aquel nivel de perturbación garantizado en un punto dado de suministro (definido para cada tipo de perturbación), que asegura que, si no es sobrepasado en un tiempo mayor al 5% del periodo de medición, la calidad del producto técnico es adecuada y existe compatibilidad electromagnética satisfactoria entre las instalaciones y equipos del consumidor con la red de suministro.

Estos niveles de referencia son garantizados, lo que significa que en cualquier punto de suministro es exigible el Nivel de Referencia con la probabilidad especificada (95%) y se corresponden a valores establecidos por normativa internacional. Dichos valores no pueden ser sobrepasados durante más de un 5% del periodo de medición.

El indicador del Flicker deberá ser medido por el índice de severidad de corto plazo Pst, definido por la norma IEC 61000-3-7. (HOLGUIN, 2010)

2.1.1.7.2.2 Tolerancia para Flicker en el voltaje

El índice de tolerancia máxima para el Flicker está dado por:

$$Pst \leq 1$$

Donde:

Pst: Índice de severidad de Flicker de corto plazo

2.2. Equipos electrónicos utilizados en Prueba Piloto

2.2.1. Analizador de redes

Es un instrumento capaz de mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas de voltajes, corrientes, potencias, armónicos, en forma de histogramas, gráficas fasoriales, formas de onda, espectros de armónicos, estos como parámetros principales, pues depende de las distintas marcas que se encuentren en el mercado las características más específicas y las ventajas que cada una de estas presenta. (HOLGUIN, 2010). La figura 8 muestra un analizador de redes.



Figura 8: Características Principales de un Analizador de Redes

Fuente: <https://www.dranetz.com/product/dranetz-hdpq-guide-power-quality-analyzer/>

2.2.2. Transformador 50 KVA

Los Transformadores de distribución trifásicos son utilizados para reducir el voltaje de la red de media tensión a los niveles de las redes de distribución de baja tensión, aplicables en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica. Su rango de fabricación va desde 5 kVA a 5,000 kVA, con nivel de tensión hasta 36 kV. (PROMELSA, 2010)

2.2.3. Reflector Contempo L Sim HPI – T 400 W c/equipo c/lámpara

Las lámparas incandescentes halógenas tienen el mismo funcionamiento similar al de las lámparas incandescentes convencionales, la diferencia es que existe un componente halógeno y un compuesto gaseoso, que consigue establecer un ciclo de regeneración para evitar el ennegrecimiento aumentando así la vida útil de la lámpara, mejorando su eficiencia luminosa, reduciendo

tamaño, mayor temperatura de color y poca o ninguna depreciación luminosa en el tiempo, manteniendo una reproducción de color excelente. El funcionamiento de este tipo de lámpara requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas que las lámparas normales y la ampolla se fabrica con un cristal especial de cuarzo que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro. La lámpara halógena por su elevada temperatura superficial de la ampolla, no es recomendable para atmosfera explosivas salvo que se emplee un envoltente especial. (GUAMAN, 2015).

La figura 9 muestra el kit del reflector de halogenuro de 400W, (Lámpara, condensador, ignitor y balasto), con un flujo luminoso: 30000 ml y una vida útil de 12000 horas.



Figura 9. Reflector de halogenuro 400W – lámpara de halogenuro 400W

Fuente: (SONEPAR, 2018)

2.2.4. Luminaria LED Campana negra IP – 65 100 – 240 V 200 W 110° HIGHBAY

La figura 10 muestra la luminaria LED campana de 200W, con un flujo luminoso de 27,000 lm y una vida útil de 50,000 horas



Figura 10. Luminaria LED campana 200W

Fuente: SONEPAR, 2018

2.3. Luminotecnia

La luminotecnia es una disciplina encargada de aprovechar la luz natural o artificial para crear sensaciones cómodas en las personas que transitarán por esos espacios. Un dato curioso, es que, en muchos casos de la planeación de obras de cualquier índole, comercial, residencial, industrial, vial, etc. La iluminación recibe el menor presupuesto y es dejada siempre al final, sin darle la debida importancia, éste fenómeno es debido a la poca cultura que presenta la sociedad sobre la importancia que la luz tiene en nuestras vidas, la mayoría de los seres vivos somos “fotosensibles” es decir, la luz influye en nuestro desarrollo y comportamiento. (TINOCO, 2013)

2.3.1. Fenómenos de la luz

La luz posee un comportamiento ondulatorio y corpuscular, siendo por ello que para el estudio de su física es necesario separar los fenómenos que presenta de acuerdo a su naturaleza, apoyándose en la óptica física o de rayos es posible describirlos. Dichos fenómenos son, la reflexión, la refracción, la difracción, la absorción, transmisión y la polarización, por los cuales pasa la luz al llegar a un objeto. (TINOCO, 2013)

2.3.1.1. Reflexión

Es el cambio de dirección que sufre un rayo luminoso cuando choca contra la superficie de un objeto de superficie reflectora, (TINOCO, 2013), como mostrado en la figura 11.

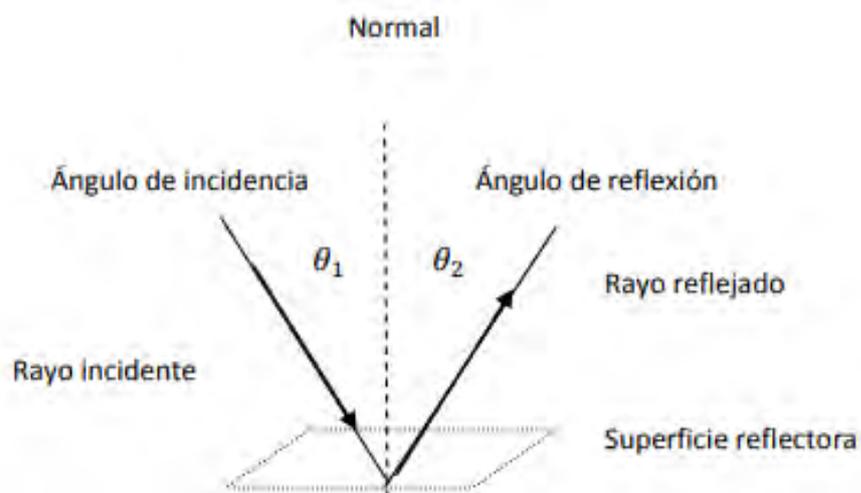


Figura 11: Reflexión de la luz

Fuente: TINOCO, 2013

2.3.1.2. Refracción

Es el cambio de dirección que soporta una onda de luz al pasar de un medio de irradiación a otro con una consistencia óptica diferente. (TINOCO, 2013)

Elementos necesarios para la refracción

Rayo Incidente, es aquel que llega a la superficie de separación de dos medios.

Rayo Refractado, el rayo que pasa al otro medio.

Ángulo de Incidencia, el ángulo que se forma entre el incidente y la normal.

Ángulo de Refracción, el ángulo formado por la normal y el rayo refractado.

v. Normal, es la perpendicular a la superficie de separación de los medios trazados.

2.3.1.3. Difracción

La difracción es el fenómeno de propagación no rectilínea de la luz por el cual las ondas luminosas bordean los obstáculos. Cuando una onda encuentra un obstáculo, parte de las ondas son absorbidas por éste y no emiten más, pero las ondas emitidas desde los puntos que quedan libres siguen avanzando esféricamente alcanzando las regiones que el obstáculo esconde, el grado de difracción de una onda al atravesar un obstáculo depende del tamaño del mismo comparado con la longitud de onda, es decir si la longitud de onda es mucho menor que las dimensiones del obstáculo, no se observará difracción pero si la longitud de onda es grande respecto del objeto, la difracción es muy notable.

La difracción no se produce solamente cuando la luz atraviesa una pequeña abertura, puede producirse el mismo efecto colocando delante del haz de luz un objeto filoso de manera tal que al incidir la luz sobre su filo, difracte, una red de difracción es una superficie reflexiva con una serie de líneas, o surcos, paralelas, las cuales provocan que la luz incidente se refleje. (TINOCO, 2013), como mostrado en la figura 12.

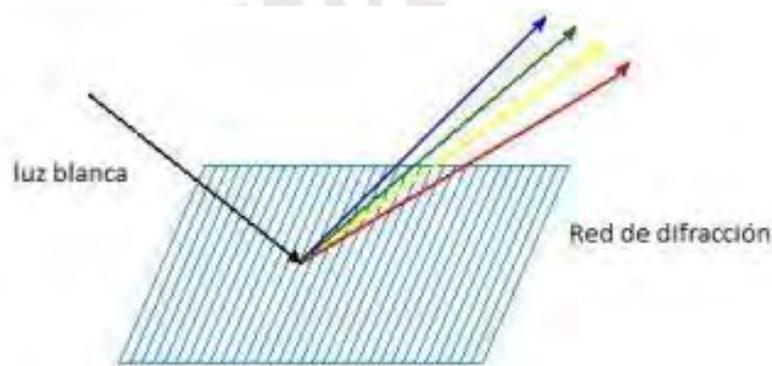


Figura 12: Red de difracción

Fuente: TINOCO, 2013

2.3.1.4. Transmisión

Ocurre cuando la luz atraviesa una superficie u objeto, presentándose en tres maneras, directa, difusa o selectiva. (TINOCO, 2013)

- Directa: la luz atraviesa un objeto y no se producen cambios de dirección o calidad de esa luz.
- Difusa cuando la luz pasa a través de un objeto transparente o semitransparente con textura.
- Selectiva: la luz atraviesa un objeto de color. Parte de la luz va a ser absorbida y parte va a ser transmitida por ese objeto.

2.3.1.5. Absorción

La luz al llegar a la superficie de un objeto, éste puede absorber toda o parte de esa luz, transformándose esta energía en alguna de otro tipo, convirtiendo al objeto que absorbe en un emisor, irradiándola a su vez en forma de calor. (TINOCO, 2013)

2.3.1.6. Polarización

La polarización se define como el desplazamiento instantáneo de las partículas que oscilan, para las ondas electromagnéticas que constituyen la luz por ser transversales vibran perpendicularmente a la dirección de propagación. El fenómeno de polarización de la luz puede ser por reflexión en superficies metálicas o por refracción al atravesar ciertas sustancias como cuarzo, turmalina, el vidrio, etc. (TINOCO, 2013)

2.3.2. DIALUX

El DIALUX es un software libre que permite realizar diseños de instalaciones de iluminación tanto interiores como exteriores, el software permite hacer diseños tridimensionales con mayor facilidad, permite trabajar con formatos que son compatibles con otro software de diseño gráfico por ejemplo AUTOCAD, lo cual facilita el proceso en cuanto al diseño, además permite calcular los niveles de deslumbramiento o URG, grado de reflexión etc. La manera que DIALUX realiza la ubicación de luminarias en espacio o áreas de actividad, es a través de catálogos interactivos permitidos por los fabricantes de las mismas, existe una diversidad de modelos y marcas, la cual solo basta con

seleccionar el tipo de aplicación de la instalación, tales como comercial, industrial, residencial o decorativa cada uno de ellos tendrán las características luminotécnicas. (LUIS, 2015)

El software DIALUX, es un programa libre que está al alcance de las personas que su deseo es crear diseños reales y analizar el nivel de iluminación es por esta razón que los fabricantes del programa lo han dividido en dos aplicaciones, iluminación de interiores e iluminación de exteriores. (LUIS, 2015)

La aplicación para la iluminación de interiores: Tiene como función diseñar el espacio interior de edificios, casas etc. para lo cual cuenta con herramientas y galerías de objetos que facilita su diseño y para el diseño de iluminación cuenta con una intensa lista de fabricantes de luminarias, que facilita una más realizar el cálculo del nivel de iluminación. (LUIS, 2015)

La aplicación para la iluminación de exteriores: Tiene como función diseñar el espacio exterior de locales por ejemplo vías públicas, jardines, vías autopistas, calles, etc. para lo cual existe herramientas que dan facilidad para su diseño de la misma forma que la aplicación para interiores esta también cuenta con fabricantes que brindan un sin número de luminarias facilitando así el cálculo del nivel de iluminación. (LUIS, 2015).

2.4. Tecnología LED

Es una lámpara de estado sólido que usan unos conjuntos de diodos, LED son las siglas de Light Emission Diode, (diodo de emisión de luz), son componentes electrónicos constituidos por la unión de materiales semiconductores de diferentes características, capaces de convertir la energía

eléctrica directamente en energía luminosa cuando son polarizados por medio de un campo eléctrico.

Este tipo de lámparas en la actualidad tienen muchos usos, ya que su gama es muy amplia y abarca casi todos los campos lumínicos, son dispositivos capaces de generar importantes ahorros en el consumo energético. Los sistemas de iluminación LED suponen una ventaja frente a la iluminación convencional con su larga vida útil, su escaso consumo, y la reducción al mínimo de la emisión de calor y rayos ultravioleta. Tampoco contienen gases ni metales pesados, por lo tanto, son menos contaminantes que el resto ya que incluso las de bajo consumo, fluorescentes compactas, llevan mercurio. (GUAMAN, 2015)

Las lámparas led poseen muchas ventajas:

- Voltaje de operación muy bajos.
- Tiempo de vida útil muy prolongado.
- Posee muy alta eficiencia.
- Reducidos costos de mantenimiento.
- Flexibilidad de instalación.
- Encendido instantáneamente al 100% de sus rendimientos.
- Es insensible a las vibraciones.
- Ausencia de radiaciones.
- Colores vivos y saturados sin filtro.

Las partes integrantes de una lámpara LED de alta potencia luminosa son las siguientes:

2.4.1. EI CHIP

Es la parte más importante del led. Está compuesta de un material semiconductor capaz de generar luz cuando se le aplica corriente que no debe fallar en largo tiempo si constructivamente ha sido bien diseñado, sobre esta base de carburo de silicio (o en ocasiones de zafiro) se depositan en forma de vapores diferentes materiales, cuya mezcla es la que da el color y la calidad de la luz. El chip se protege del exterior mediante una carcasa de cristal o policarbonato. Cuando el color de la capa de fosforo que recubre el chip es de color amarillo oscuro (ocre), emitirá luz “cálida”, similar a la de una lámpara halógena de igual cantidad de lúmenes, con la diferencia que consumirá menos energía eléctrica en watt. (GUAMAN, 2015)

2.4.2. Disipador de calor

La disipación del calor es una de las claves de la duración de un LED, es un elemento imprescindible de utilizar en una lámpara LED de alta potencia luminosa. Una buena disipación del calor alargará la vida del chip. Para lograrlo, son claves los materiales empleados y un diseño que favorezca esta disipación, Un disipador mal diseñado puede ocasionar la destrucción del chip del LED. (GUAMAN, 2015).

2.4.3. DRIVER

Los leds no se conectan directamente a la red eléctrica, su función de este driver es de controlar el sistema eléctrico de trabajo del led de alta potencia luminosa, por lo que el aprovechamiento real de la energía eléctrica, este

controlador permite que las lámparas led de alta potencia luminosa puedan funcionar con corriente alterna. (GUAMAN, 2015)

2.4.4. Placa Base

PCB Printed Circuit Board (placa de circuito impreso), es aquella que soporta las conexiones de los dispositivos electrónicos, tales como las conexiones del chip y las vías de disipación de calor, también se la denomina como placa madre. (GUAMAN, 2015)

2.4.5. Óptica Secundaria

Es el conjunto de lentes exteriores que establecen la distribución del haz de luz emitida por el led. Puede proporcionar un mayor o menor ángulo de difusión de la luz, pues la que emite el LED se difunde, normalmente, de forma unidireccional. En el caso de la lámpara que se ilustra al inicio de esta sección, el diseño del componente óptico está formado por pequeñas lentes, que permiten que la luz se difunda en un ángulo de 120° , la forma y composición de las lentes que forman la óptica secundaria puede variar en función de las necesidades de iluminación y distribución de la luz que se requieran. (GUAMAN, 2015).

La figura 13 muestra las partes de la lámpara LED.

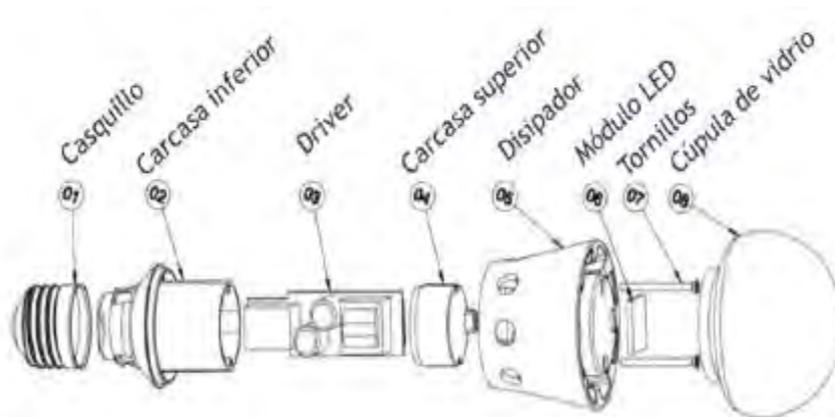


Figura 13: Partes de lámpara led
Fuente: GUAMAN, 2015

2.5. Normativa

2.5.1. Decreto Supremo N° 020 – 97 – EM

En la presente Norma se establecen los aspectos, parámetros e indicadores sobre los que se evalúa la Calidad del Servicio de la Electricidad. Se especifica la cantidad mínima de puntos y condiciones de medición. Se fijan las tolerancias y las respectivas compensaciones y/o multas por incumplimiento. Asimismo, se establecen las obligaciones de las entidades involucradas directa o indirectamente en la prestación y uso de este servicio en lo que se refiere al control de la calidad. (DS N° 020-97-EM)

Se entiende por Suministrador a la entidad que provee un servicio o un suministro de energía a otra entidad o a un usuario final del mercado libre o regulado; y se entiende por Cliente a todo usuario o entidad que recibe un servicio o un suministro de energía para consumo propio o para la venta a terceros. Se entiende por Terceros a todos aquéllos que, sin participar directamente de un acto particular de compraventa de un servicio eléctrico, están

conectados al sistema, participan en las transferencias de energía o influyen en la calidad de ésta. (DS N° 020-97-EM)

Los indicadores de calidad evaluados de acuerdo a la Norma, miden exclusivamente la calidad de producto, suministro, servicio comercial y alumbrado público que entrega un Suministrador a sus Clientes. Éstos no son indicadores de performance de los actores del sector eléctrico. De requerirse indicadores de performance de un Suministrador, éstos se calculan excluyendo los efectos de las fallas que no le sean imputables. (DS N° 020-97-EM).

2.5.2. Normativa Técnica de calidad de servicios eléctricos (NTCSE)

La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), aprobada por Decreto Supremo N° 020-97-EM, regula los aspectos de calidad en el servicio eléctrico que deben cumplir las empresas eléctricas; estableciendo los niveles mínimos de calidad y las obligaciones de las empresas de electricidad y los Clientes que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley N° 25844. También se establece los aspectos, parámetros e indicadores sobre los que se evalúa la Calidad del Servicio de la Electricidad. Se especifica la cantidad mínima de puntos y condiciones de medición. Se fijan las tolerancias y las respectivas compensaciones y/o multas por incumplimiento. Asimismo, se establecen las obligaciones de las entidades involucradas directa o indirectamente en la prestación y uso de este servicio en lo que se refiere al control de la calidad. (OSINERGMIN, s.f.)

2.5.3. Tolerancias a la Norma

Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las Etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos. Tratándose de redes secundarias en servicios calificados como Urbano-Rurales y/o Rurales, dichas tolerancias son de hasta el $\pm 7.5\%$. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas en este literal, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición. (DS N° 020-97-EM)

Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión, son:

- Variaciones Sostenidas (f_k') (%): $\pm 0.6\%$.
- Variaciones Súbitas (VSF'): $\pm 1.0\text{Hz}$.
- Variaciones Diarias ($IVDF'$): ± 600.0 Ciclos.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, en cada caso:

- Si las Variaciones Sostenidas de Frecuencia se encuentran fuera del rango de tolerancias por un tiempo acumulado superior al uno por ciento (1%) del Período de Medición

- Si en un Período de Medición se produce más de una Variación Súbita excediendo las tolerancias

- Si en un Período de Medición se producen violaciones a los límites establecidos para la Integral de Variaciones Diarias de Frecuencia.

Flícker.- El Índice de Severidad por Flícker (P_{st}) no debe superar la unidad

($P_{st} < 1$) en Muy Alta, Alta, Media ni Baja Tensión. Se considera el límite: $P_{st}'=1$ como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población. (DS N° 020-97-EM).

2.5.4. Norma IEEE

La norma IEEE C62.41-1991 (IEEE Recommended Practice for Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits) no busca establecer los parámetros de desempeño de equipos de protección, sino que presenta lineamientos sobre los parámetros de aplicación, así como las acciones correspondientes a ser implementadas por los usuarios para alcanzar la protección contra transitorios deseada. Se analizan las señales de variación de voltaje, fluctuaciones de tensión y distorsión de la forma de onda para determinar su efecto en el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas. (Armando, 2017)

La finalidad de esta norma es proporcionar las medidas necesarias para limitar la inyección de armónicos de los clientes individuales de manera que no se generen niveles inaceptables de distorsión en voltaje bajo las características normales del sistema y limitar la distorsión armónica total del voltaje proporcionado por el proveedor. Los límites de distorsión de voltaje y corriente deben usarse como valores de diseño de los sistemas eléctricos para los casos más desfavorables en condiciones de operación normales. (Armando, 2017)

2.5.5. DGE 017 – AI – 1/1982 – Norma de Alumbrado de interiores y Campos Deportivos

En el Perú, se estableció la Norma Técnica de Alumbrado mediante el DGE 017-AI-1/1982 “Norma de Alumbrado de Interiores y Campos Deportivos”. La DGE 017 tiene por objeto uniformizar criterios en la elaboración de proyectos referentes al alumbrado de interiores en general y no ha sido modificada a la fecha. La norma peruana detalla muy bien los niveles de iluminación de interiores no habiendo discrepancia con los internacionales, sin embargo, existen otras normas las cuales modifican las perspectivas del diseño. Estas normas son más puntuales y específicas en los niveles de reflexión y deslumbramiento, la CIE (The International Commission on Illumination) y el proyecto de norma española LG son un ejemplo de ello. (Carhuajulca, 2005).

La figura 14 muestra el flujo de la categoría de iluminación según la norma DGE 017-AI-1/1982.

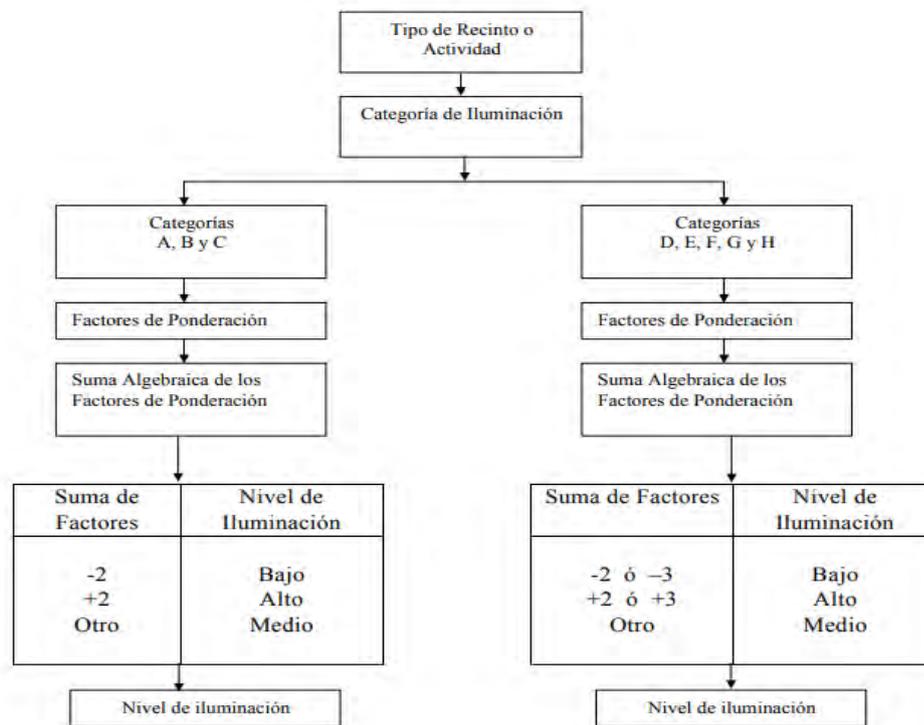


Figura 14: Flujo de la categoría de iluminación (DGE 017-AI-1/1982)

Fuente: Tomado de la Norma de Alumbrado DGE 017-AI-1/1982

La iluminación nominal asignada a un tipo particular de recinto o a una actividad particular, está basada en la dificultad de la tarea visual. Se asume que el efecto de la iluminación sobre el rendimiento visual no es afectado por el deslumbramiento directo y reflejado, por la reducción del contraste, ni por la reproducción del color y color de luz inapropiados. (DGE 017-AI-1, 1982)

La tabla 1 muestra las categorías de iluminación y valores de iluminación para tipos genéricos de actividades en interiores según norma DGE 017-AI-1/1982.

Tabla 1: Categorías de iluminación y valores de iluminación para tipos genéricos de actividades en interiores (DGE 017-AI-1/1982)

Tipo de Actividad	Categoría de Iluminación	Iluminación Nominal lx
Espacios públicos con alrededores oscuros.	A	20-30-50
Simple orientación para visitas cortas temporales.	B	50-75-100
Recintos de trabajo donde las tareas visuales solo ocasionalmente.	C	100-150-200
Realización de tareas visuales de gran contraste o gran tamaño.	D	200-300-500
Realización de tareas visuales de contraste medio o pequeño tamaño.	E	500-750-1000
Realización de tareas visuales de bajo contraste muy pequeño tamaño.	F	1000-1500-2000
Realización de tareas visuales de bajo contraste o muy pequeño tamaño a través de un prolongado periodo.	G	2000-3000-5000
Realización de tareas visuales muy prolongadas y exactas.	H	5000-7500-10000

Fuente: Tomado de la Norma de Alumbrado DGE 017-AI-1/1982

Se han establecido como “categorías de iluminación”, designadas desde la “A” hasta la “H”, que cubren niveles de iluminación desde 20 hasta 10,000 lx. La Tabla 2 provee un listado de categorías e iluminaciones nominales para tipos genéricos de actividades de interiores y es utilizada normalmente cuando no se puede definir la categoría de iluminación para un tipo de recinto o actividad. (DGE 017-AI-1, 1982).

Tabla 2: Valores de iluminación nominal recomendable para interiores en general (DGE 017-AI-1/1982)

1	2	3	4	5	
Tipo de recinto o actividad	Categoría de iluminación	Color de luz	Grado de reproducción del color	Limitación del deslumbramiento directo	
*Laboratorios, cuartos de empaquetamiento farmacéutico.	D	bc, bn	2	2	
*Trabajos con tareas visuales de mayor exactitud.	E		2	1	
*Control de colores.	F		1	1	
Industrias de cemento, cerámica y vidrio					
*Puestos o zonas de trabajo en hornos, mezcladoras de materia prima, plantas de trituración en ladrilleras.	D	bc, bn	3	3	
*Esmaltado, laminado y prensado, moldeado de piezas simples, barnizado, soplado de vidrio.	D		3	2	
*Esmerilado, mordentado, pulido de vidrio, moldeado de piezas finas, fabricación de instrumentos de vidrio.	E		3	1	
*Trabajos de decoración.	E		2	1	
*Esmerilado de vidrios ópticos y cristales, esmerilado y grabado a mano, trabajos de calidad media.	E		2	1	
*Trabajos de precisión.	F		2	1	
Plantas de fundición, siderurgia y laminación					
*Plantas de producción que no requieren intervención manual.	B	bc, bn	3	3	
*Planta de producción con intervención manual ocasional.	C		3	3	
*Puestos de trabajo ocupados permanentemente en plantas de producción.	D		3	3	
*Estaciones de medición, plataformas de control y salas de control.	D		bc	2	2
*Estaciones de prueba y control de calidad.	E		bn, bd	2	1
Trabajo y tratamiento de metales					
*Forja en yunque de partes pequeñas.	D	bc, bn	3	2	
*Soldadura.	D		3	2	

Fuente: Tomado de la Norma de Alumbrado DGE 017-AI-1/1982

El paso previo para determinar la iluminación nominal, es establecer la categoría de iluminación apropiada para la dificultad visual presentada por la tarea y luego de terminar el valor de iluminación nominal de esta categoría (bajo, medio o alto), en base a las siguientes características:

- La edad de los observadores
- La importancia de la velocidad y/o precisión para el rendimiento visual.
- El grado de reflexión del fondo sobre el cual se realizará la tarea.

2.6. Indicadores Financieros

2.6.1. Tasa interna de retorno (TIR)

Según TONG.J, (2011), la tasa interna de retorno TIR, es la tasa que iguala el Valor Actual de los Ingresos con el Valor Actual de los Egresos. Es la tasa de crecimiento de un flujo de caja.

TIR es la tasa que genera:

$$VA \text{ Ingresos} = VA \text{ Egresos}$$

Dicha tasa debe de ser comparada con la Tasa Requerida (Ks).

La Tasa Requerida (ks) dependerá del nivel de riesgo esperado del proyecto. A mayor riesgo, se exigirá una mayor rentabilidad

Criterio de decisión:

- $TIR > Ks$: Se acepta el proyecto, genera valor
- $TIR = Ks$: Es indiferente aceptar el proyecto
- $TIR < Ks$: Se rechaza el proyecto, destruye valor

2.6.2. Valor actual neto (VAN)

Según TONG.J, (2011), el valor actual neto VAN resulta de la diferencia entre el Valor Actual de Ingresos menos el Valor Actual de Egresos, trayendo los flujos de caja a la Tasa Requerida (ks).

$$\text{VAN} = \text{VA Ingresos} - \text{VA Egresos}$$

El VAN ya incluye el efecto de la Tasa Requerida (ks).

Criterio de decisión:

- $\text{VAN} > 0$: Se acepta el proyecto, genera valor
- $\text{VAN} = 0$: Es indiferente aceptar el proyecto
- $\text{VAN} < 0$: Se rechaza el proyecto, destruye valor

2.6.3. PERIODO DE RECUPERACIÓN (PAYBACK)

Según TONG.J, (2011), el periodo de recuperación PAYBACK, es la suma algebraica de todos los flujos. Se especifica en número de años.

Limitaciones:

Criterio de decisión:

- No toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo.
- No toma en cuenta los valores futuros luego del periodo de recuperación.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

El punto de partida del trabajo de investigación empieza con el análisis del consumo de los reflectores de halogenuro metálico 400W 220V que se viene abasteciendo en los años 2017 y 2018 en determinada compañía minera, en la tabla 3 se puede apreciar el comportamiento de este bien incluyendo los montos de adquisición.

Tabla 3: Consumo de reflector halogenuro 400W en los años 2017 y 2018

Descripción	Año	Destino	Cantidad requerida	Monto total de adquisición (USD)
Reflector de halogenuro metálico 400W 220V PHILIPS	2017	Planta concentradora	150	11,311.17
		Mina	352	26,157.31
	2018	Planta concentradora	160	10,075.16
		Mina	329	20,723.25
TOTAL			991	68,266.89

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 3 podemos concluir que la cantidad requerida no comparte resultados directamente proporcionales al monto final de adquisición, ya que el precio de las piezas va a someterse a ciertos criterios de estrategia de compra en donde se evalúa la oferta y la demanda, situación del mercado, commodities

y la negociación que se realice con el proveedor. Finalmente podemos ver que el gasto total por la compra de reflectores y lámparas en distinguida minera fue de 68,266.89 USD en los años 2017 y 2018.

Es importante aclarar que el equipo reflector de halogenuro metálico de 400W comprende una serie de piezas (Lámpara, condensador, ignitor y balasto) que se desgastan de manera independiente y al ser obsoleto una de ellas el equipo en su totalidad dejaría de funcionar.

Después de ver el consumo de los reflectores de halogenuro metálico de 400W, se propone cambiarlos por unas luminarias LED 200W, por lo que la tabla 4 presenta las ventajas y desventajas de cada uno.

Tabla 4: Ventajas y desventajas del reflector 400W y LED 200W

Descripción del producto	Ventajas	Desventajas
Reflector con tempo L SIM HPI-T 400 W. C/EQUIPO C/LAMPARA	*Menor costo inicial	<ul style="list-style-type: none"> *Mayor consumo *Consumo de lámpara 400W *Consumo de equipos de encendido: 10% potencia nominal *Consumo total: 440 W *Menor tiempo de vida útil (12,000 h) 2.73 años *Compuesto por varios equipos (Alto% de falla) *Mayor consumo de HxH en su mantenimiento *Factor de potencia < 0.8 *THD > 30 % *Menor resistencia a impacto mecánico IK 03
Luminaria led campana negra IP-65 100-240V 200W 110° HIGHBAY	<ul style="list-style-type: none"> *Bajo consumo *Consumo total: 200 W *Mayor tiempo de vida útil (50,000 h) 5 años 	*Mayor costo inicial

	<ul style="list-style-type: none"> *Un solo equipo (Menor % de fallas) *Libre de mantenimiento *Factor de potencia mayor a 0.9 *Baja contaminación de armónico THD > 7% 	
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

Además de ver en la tabla 4 la comparación de ambas opciones, es necesario hacer un análisis más profundo y meticuloso para evaluar si es realmente conveniente el cambio de luminarias, por ello se decidió escoger un lugar en la unidad minera en donde se realizaría una prueba piloto que involucre un área donde exista una gran cantidad significativa de reflectores de halogenuro de 400W, la cual se le describirá como zona de filtrados.

La prueba piloto consiste en dos fases importantes:

3.1. El estudio de calidad de energía

Consistirá en medir a través de un analizador de redes instalado a un transformador de 50 KVA el comportamiento de la corriente, potencia, energía activa y reactiva por un periodo de tiempo en la zona de filtrados. Este estudio tiene el fin de determinar el estado de la red de energía eléctrica para poder identificar armónicos en el sistema y así poder comparar los resultados con los límites exigidos por la normativa NTCSE y el estándar IEEE 519.

3.2. El uso del software Dialux

Una vez levantado las observaciones exigidas por la normativa, se procede a optimizar las cantidades de luminarias óptimas que podrían reemplazar la situación actual frente a una propuesta de mejora con una mejor distribución en base a datos recogidos en campo y evaluados en el software Dialux.

Después se procederá a realizar un análisis costo beneficio de ambos escenarios tanto con los reflectores de 400W y las luminarias LED de 200W. Este análisis presentará resultados con indicadores basados en costos de energía, costos de reposición del kit de mantenimiento, costos de mano de obra de mantenimiento, ahorro y el retorno del capital.

Finalmente se realizará una proyección en diferentes escenarios que puedan sustentar la rentabilidad de la implementación de las luminarias LED en la unidad minera.

CAPÍTULO 4

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Prueba Piloto

4.1.1. Análisis de calidad de energía

Para poder implementar el cambio de las luminarias LED 200W es imprescindible que se realice un estudio de calidad de energía para determinar el grado de contaminación armónica del sistema según la NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS (**Decreto Supremo N° 020-97-EM**).

La figura 15 muestra el diagrama unifilar de la planta concentradora

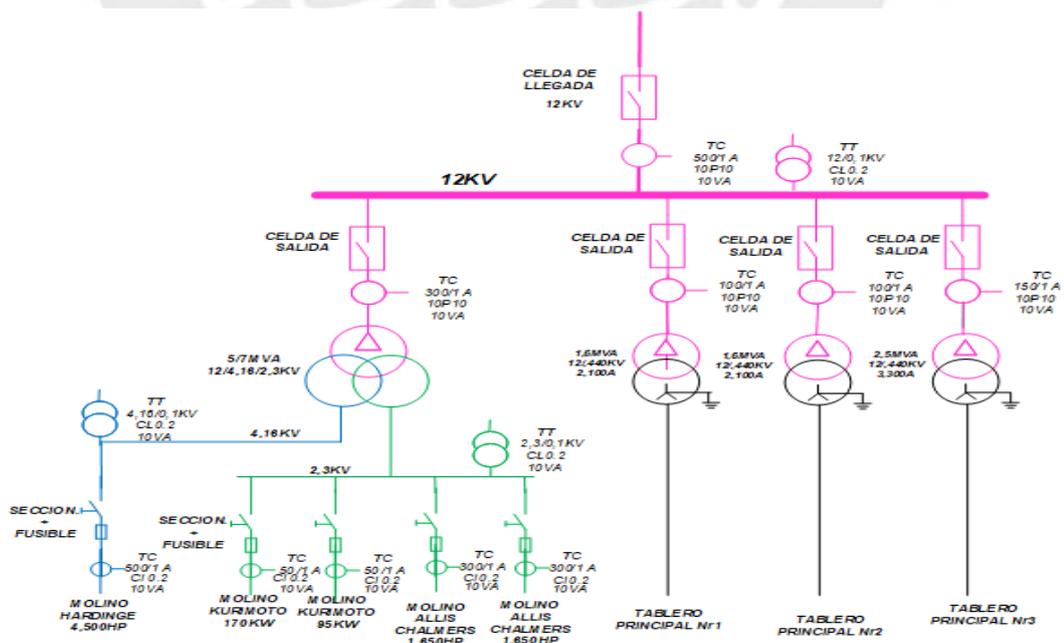


Figura 15. Diagrama unifilar Planta concentradora
Fuente: Sonepar Peru SAC

El presente trabajo de investigación se limitará a la medición del estudio de calidad de energía en una zona en específico, la cual llamaremos prueba piloto.

Esta prueba se realizó en el área de filtración de la planta concentradora, ya que la zona cuenta con más puntos de reflectores de halogenuro de 400W.

La compañía minera acordó realizar un servicio de Análisis de Calidad de Energía para determinar las condiciones de red en que se encuentra la iluminación del área de Filtrado en planta, la iluminación del área de filtrado está siendo suministrada de energía por un transformador de 50 kVA que reduce el nivel de tensión de 440V a 220V.

Se propuso la instalación de un analizador de redes PowerGuide 4400 de la marca Dranetz en los bornes de salida del transformador de 50 kVA, para que registrara parámetros eléctricos durante 7 días calendarios.

Los principales objetivos de la prueba son:

- Evaluar el grado de contaminación armónica del sistema, debido a que esto puede incrementar las pérdidas de potencia y contaminan las líneas de suministro eléctrico.
- Analizar los resultados obtenidos a través de las mediciones y compararlos con los límites establecidos en la NTCSE y el estándar IEEE 519.

4.1.2. Consideraciones del análisis

Para el presente estudio se evalúan el comportamiento de la tensión bajo las tolerancias estipuladas en Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) en el punto de compra de energía. Los límites en

perturbaciones encontradas en el sistema eléctrico se rigen en la NTCSE donde se establecen los niveles de distorsión en tensión aceptables para los suministradores de energía en sistemas de distribución.

Según la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE): Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos.

Tratándose de redes secundarias en servicios calificados como Urbano-Rurales y/o Rurales, dichas tolerancias son de hasta el $\pm 7.5\%$.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas en este literal, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición.

Según la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE): Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión, son:

- Variaciones Sostenidas (%): $\pm 0.6\%$ Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si las Variaciones Sostenidas de frecuencia se encuentran fuera del rango de tolerancias por un tiempo acumulado superior al uno por ciento (1%) del Período de Medición.
- El Índice de Severidad por Flicker (Pst) no debe superar la unidad (Pst < 1) en muy alta, alta, media ni baja tensión. Se considera el límite: Pst = 1 como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

- Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores de las perturbaciones medidas se encuentran fuera del rango de tolerancias establecidas en este numeral, por un tiempo superior al 5% del Período de Medición. Cada tipo de perturbación se considera por separado.

El estándar IEEE 519-2014 y la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE) pretenden establecer los principios para el diseño de sistemas eléctricos que incluyan cargas lineales y no lineales. Mediante la siguiente recomendación se describen los límites para el control de los problemas ocasionados por los armónicos. Los límites recomendables se refieren a las condiciones más desfavorables en régimen permanente de funcionamiento; durante transitorios estos límites pueden por tanto ser sobrepasados. La tabla 5 muestra los límites de distorsión de tensión.

Tabla 5: Límites de distorsión de tensión – NTCSE

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA ó THD	TOLERANCIA $ V_i $ o $ THD_i $ (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Para tensiones mayores a: 60 Kv	Para tensiones menores o iguales a: 60 kV
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores a 25	$0.1+2.5/n$	$0.2+12.5/n$
(Armónicas Impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores a 21	0.2	0.2
THD	3	8

Fuente: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos - OSINERGMIN.

4.1.2.1. Procedimiento Experimental

La medición se realizó en la salida del transformador 440/220V que alimenta las cargas de iluminación y tomacorrientes del área de Filtrado, en la cual se obtuvo una corriente promedio de 40A que para el propósito de medición es adecuado.

Si se requiere tener un panorama general del sistema es necesario hacer mediciones en un punto principal donde se tenga mayor consumo de corriente.

Se recomienda instalar dispositivos de bajo consumo de potencia reactiva, y dispositivos con un rango de alimentación amplio ($>10\%$), debido a que en zonas mineras se tiene una variación de tensión porcentual considerable, como se pudo observar en los gráficos de tensión

Se utilizó el software Dialux que permite mejorar el sistema de iluminación para interiores, introduciendo datos como las medidas de los techos, suelos, paredes.

El propósito de este software es optimizar la cantidad de luminarias LED a comprar y la ubicación correcta de cada punto de energía, para poder aprovechar los flujos luminosos según las áreas donde existen mayores espacios de sombras.

4.1.3. Resultados de las mediciones realizadas

La figura 16 muestra las tensiones nominales.

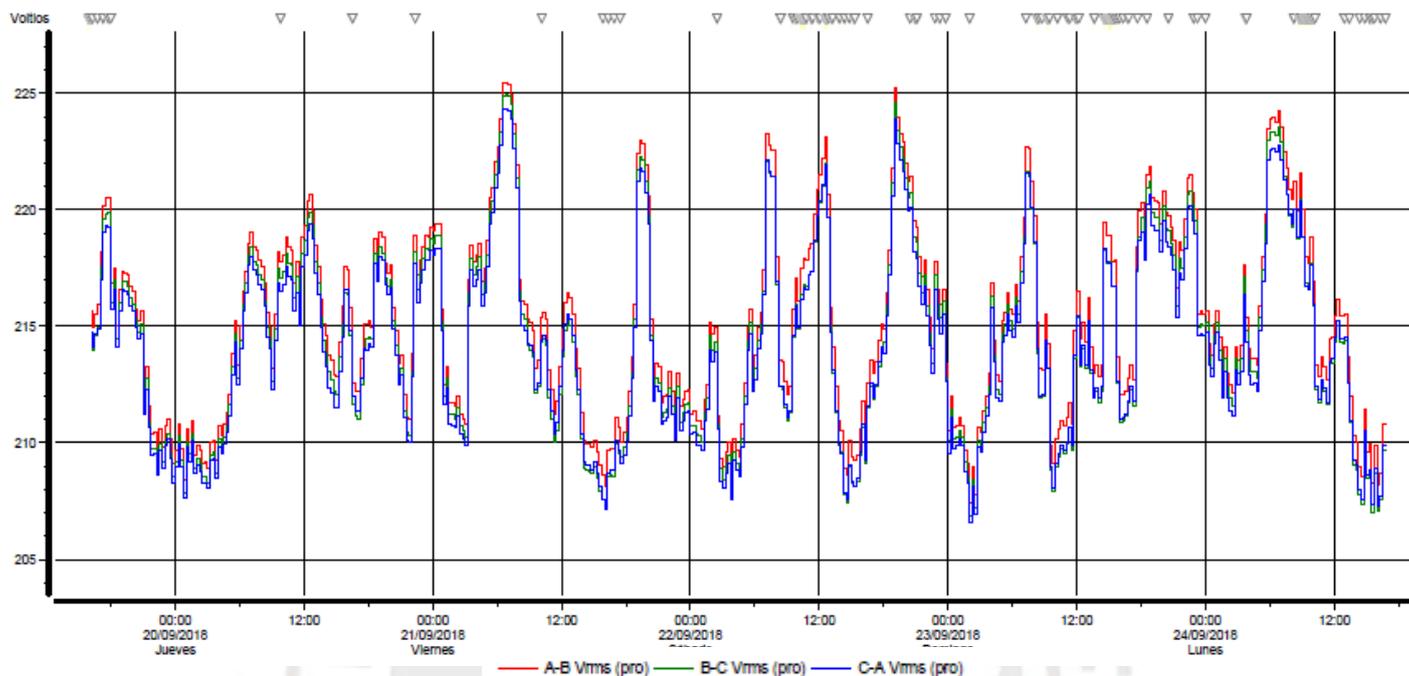


Figura 16: Tensión L-L – Filtrado
Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Según NTCSE las tolerancias admitidas es $\pm 7.5\%$ de las tensiones nominales, siendo la tensión rms promedio de 214.5V encontrado en las mediciones realizadas.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición.

La tabla 6 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica de tensión, en tal sentido la tensión se encuentra dentro de los rangos establecidos.

Tabla 6: Valores mínimos y máximos de la gráfica de tensión – NTCSE

	Min	Máx	Pro
A-BVrms	207.5	225.5	215.1
B-CVrms	206.9	225	214.3
C-AVrms	206.6	224.3	214.1

Fuente: Elaboración propia

A-BVrms: Primer punto de la Tensión nominal de color rojo

B-CVrms: Segundo punto de la Tensión nominal de color verde

C-AVrms: Tercer punto de la Tensión nominal de color Azul

La figura 17 muestra el comportamiento de la Corriente.

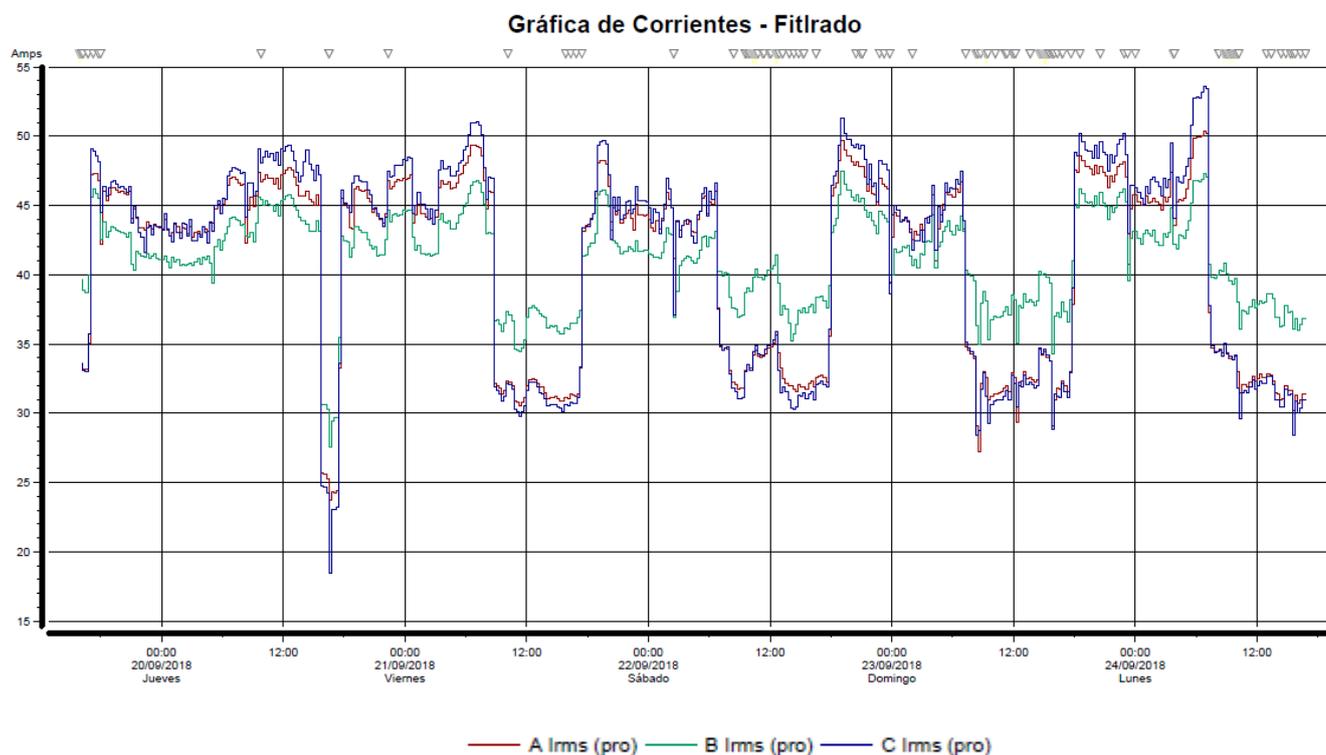


Figura 17: Corrientes - Filtrado

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

La tabla 7 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica de corrientes, donde se puede observar que en todo el intervalo de medición la corriente tuvo un consumo máximo de 53.59 A.

Tabla 7: Valores mínimos y máximos de la gráfica de corrientes – NTCSE

	Min	Máx	Pro
Alrms	23.74	50.38	40.78
Blrms	27.59	47.49	41.14
Clrms	18.45	53.59	41.15

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Alrms: Primer punto de la corriente de color rojo

Blrms: Segundo punto de la corriente de color verde

Clrms: Tercer punto de la corriente de color azul

La figura 18 muestra la Potencia Activa y Reactiva.

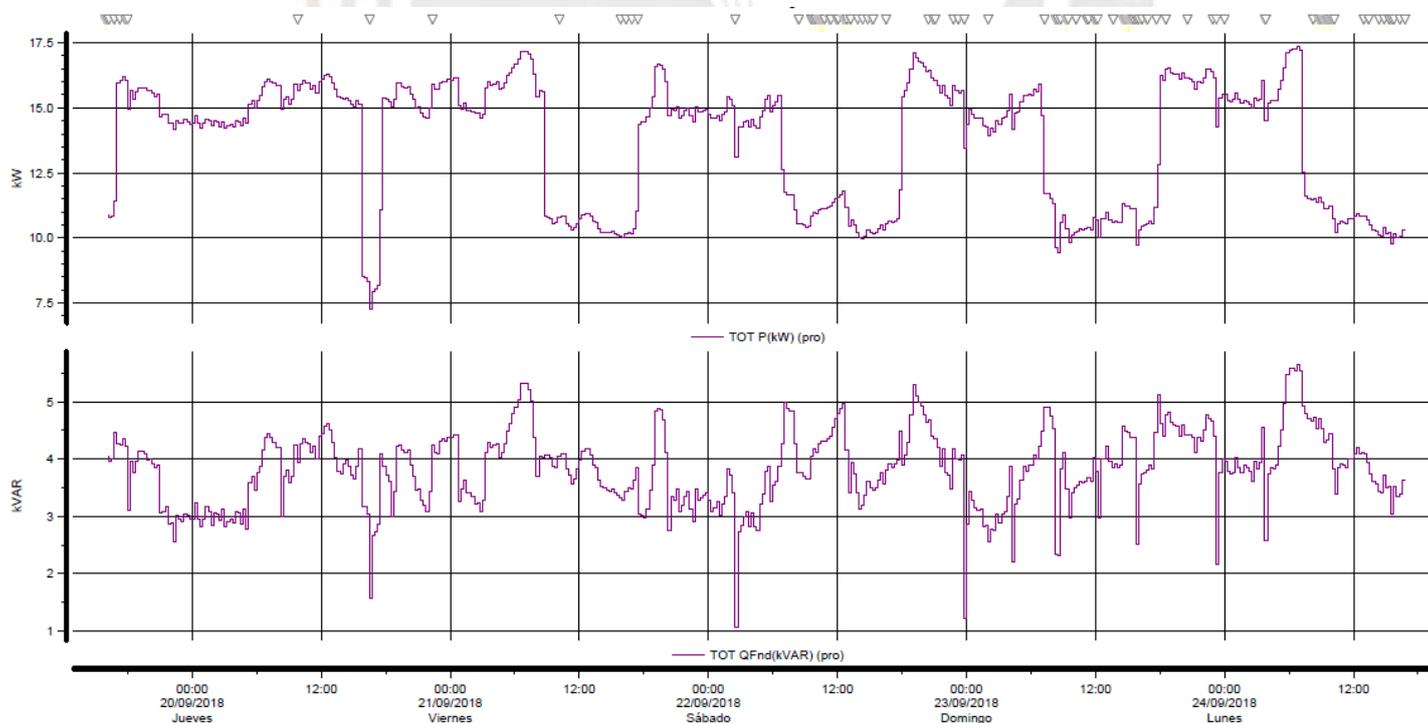


Figura 18: Potencia activa y reactiva - Filtrado
Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Se puede observar que en todo el intervalo de medición la potencia activa (que es la que se aprovecha como potencia útil) tuvo un consumo máximo de 17.34 kW, el cual fue el 24/09/2018 a las 07:00.

La potencia reactiva (que es la potencia que necesitan las bobinas y los condensadores para generar campos magnéticos o eléctricos, pero que no se transforma en trabajo efectivo, sino que fluctúa por la red entre el generador y los receptores) tuvo un consumo máximo de 5.65 kVAR, el cual fue el 24/09/2018 a las 07:00. En cambio, el consumo mínimo fue de 1.064 kVAR, el cual fue el 22/09/2018 a las 02:45.

La tabla 8 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica de potencia activa y reactiva.

Tabla 8: Valores mínimos y máximos de la gráfica de potencia activa y reactiva – NTCSE

	Min	Máx	Pro
TOTP(kW)	7.245	17.34	13.69
TOTQFnd(kVAR)	1.064	5.653	3.826

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

TOTP(kW): Potencia activa

TOTQFnd(kVAR): Potencia reactiva

La figura 19 muestra la Potencia Aparente.

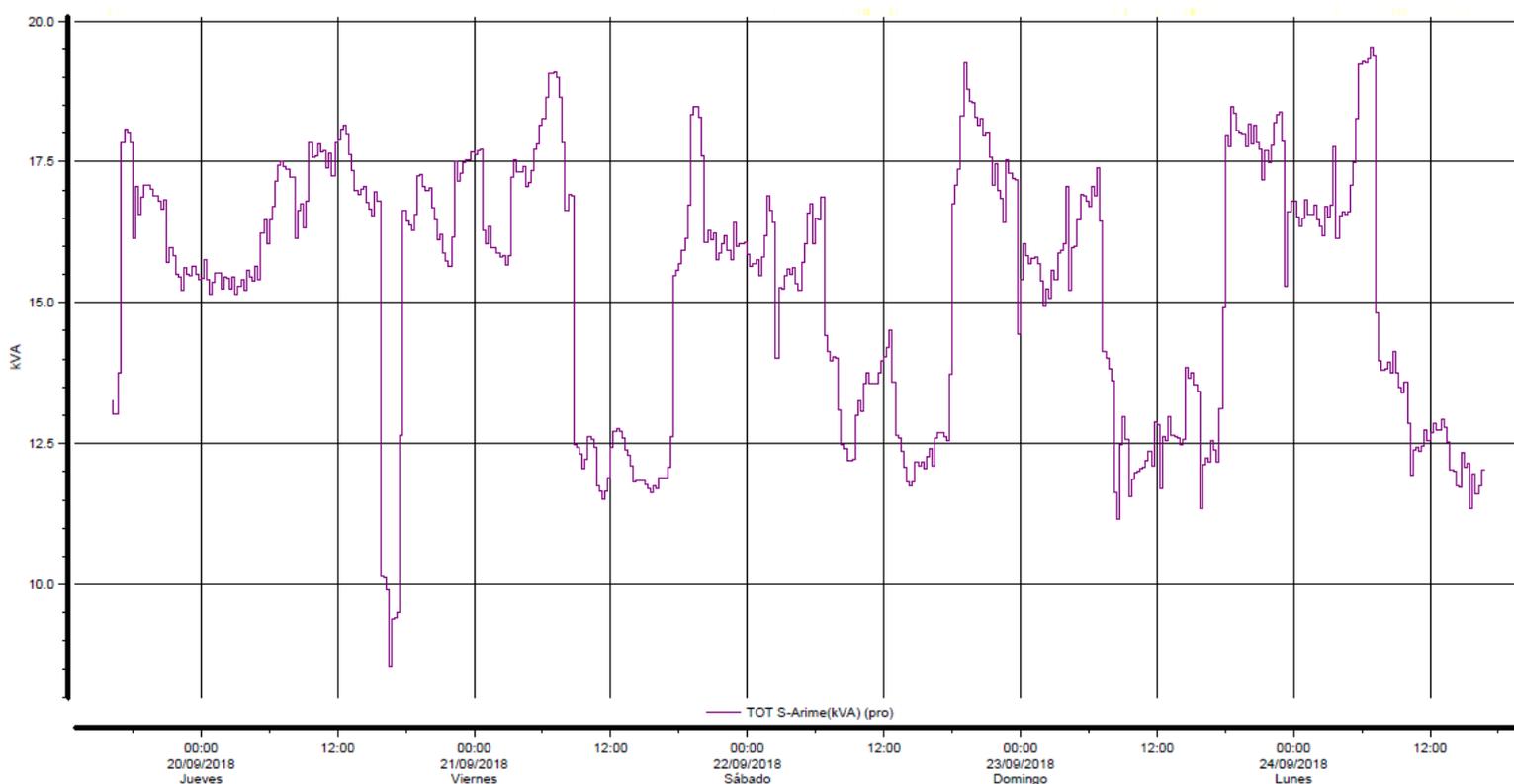


Figura 19: Potencia aparente - Filtrado
Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Se puede observar que en todo el intervalo de medición la potencia aparente (que es la potencia total consumida por la carga y es el producto de los valores eficaces de tensión e intensidad) tuvo un consumo máximo de 19.51 kVA, el cual fue el 24/09/2018 a las 07:00. La tabla 9 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica de potencia aparente.

Tabla 9: Valores mínimos y máximos de la gráfica de potencia aparente – NTCSE

	Min	Máx	Pro
TOTS-Arime(kVA)	8.547	19.51	15.26

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

TOTS-Arime(kVA): Potencia aparente

La figura 20 muestra el Factor de Potencia.

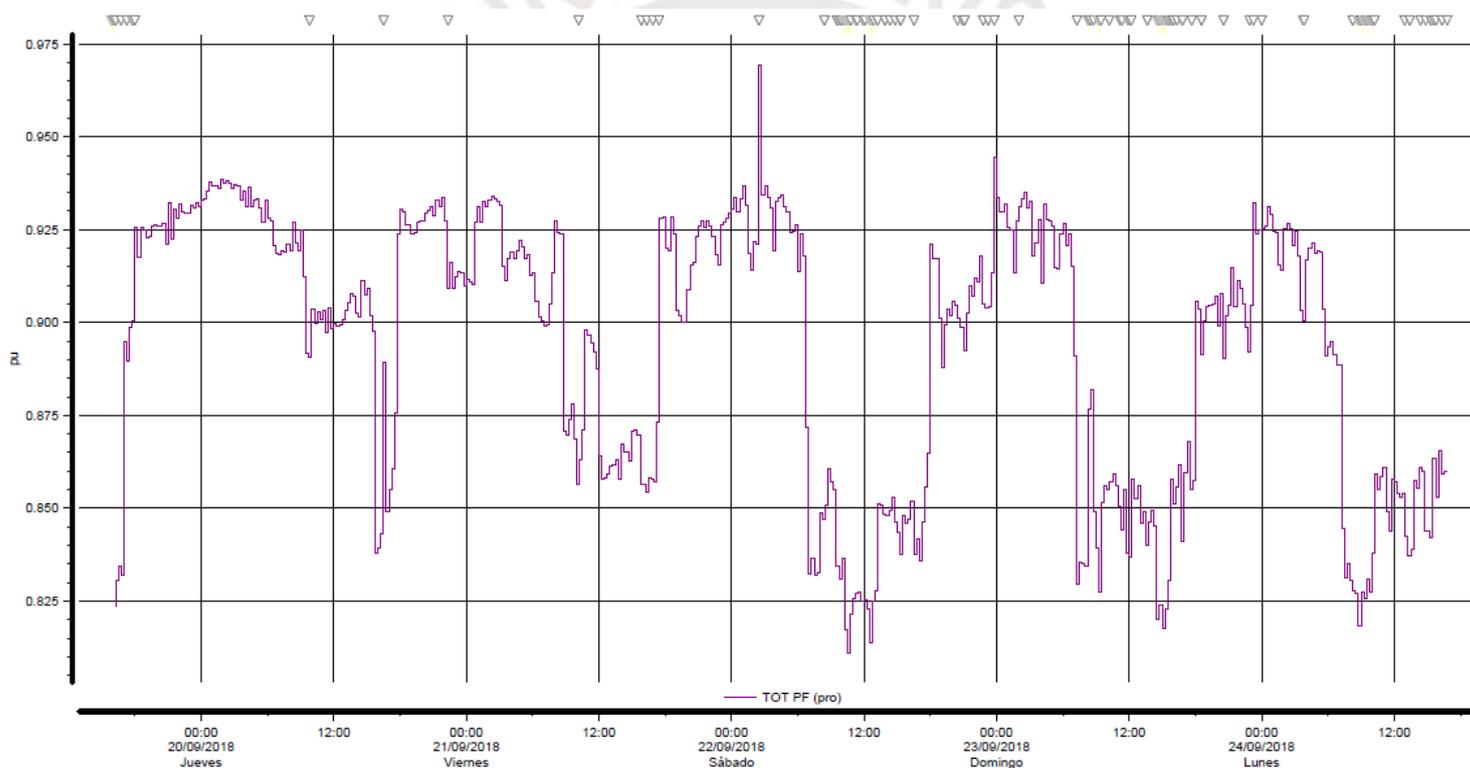


Figura 20: Factor de potencia – Filtrado
Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR)

Se puede observar que en todo el intervalo de medición el factor de potencia tuvo un valor promedio de 0.89.

Se tiene un valor de factor de potencia bajo que puede ser compensado utilizando capacitores o dispositivos electrónicos que mejoren el factor de potencia como la iluminación LED. La tabla 10 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica factor de potencia.

Tabla 10: Valores mínimos y máximos de la gráfica factor de potencia – NTCSE

	Min	Máx	Pro
TOTPF	0.8111	0.9695	0.8939

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

TOTPF: Factor de potencia

La figura 21 muestra la Frecuencia de las Ondas.

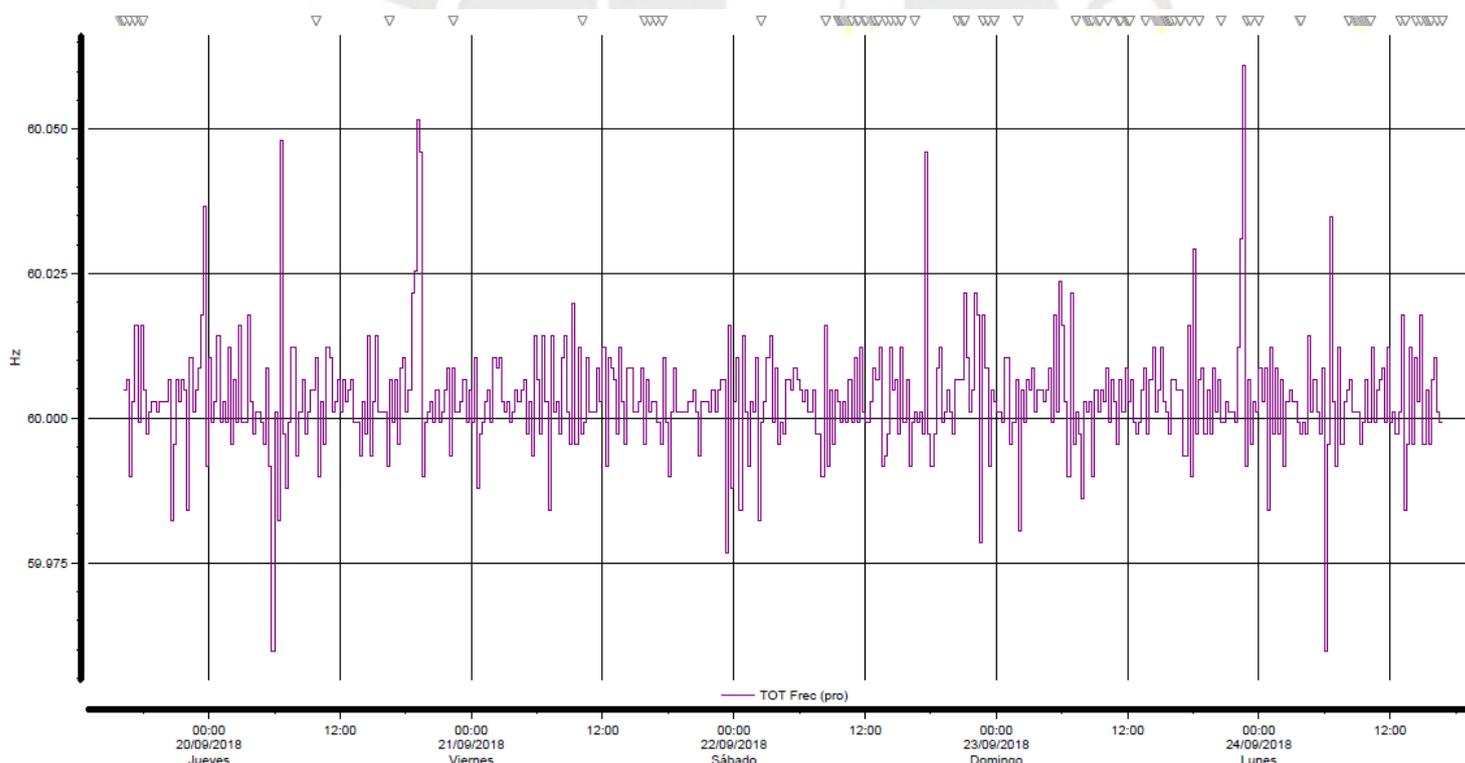


Figura 21: Frecuencia – Filtrado
Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Se puede observar que en todo el intervalo de medición la frecuencia tiene un valor promedio de 60Hz. El mínimo valor 59.96 se encuentra dentro del límite ($\pm 0.6\% F_n$) considerado como variaciones sostenidas de frecuencia durante intervalos de 15 minutos según lo establecido en la NTCSE. La tabla 11 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica frecuencia.

Tabla 11: Valores mínimos y máximos de la gráfica frecuencia – NTCSE

	Min	Máx	Pro
TOTFrec	59.96	60.06	60

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

TOTFrec: Frecuencia

La figura 22 muestra la Distorsión Armónica Total.

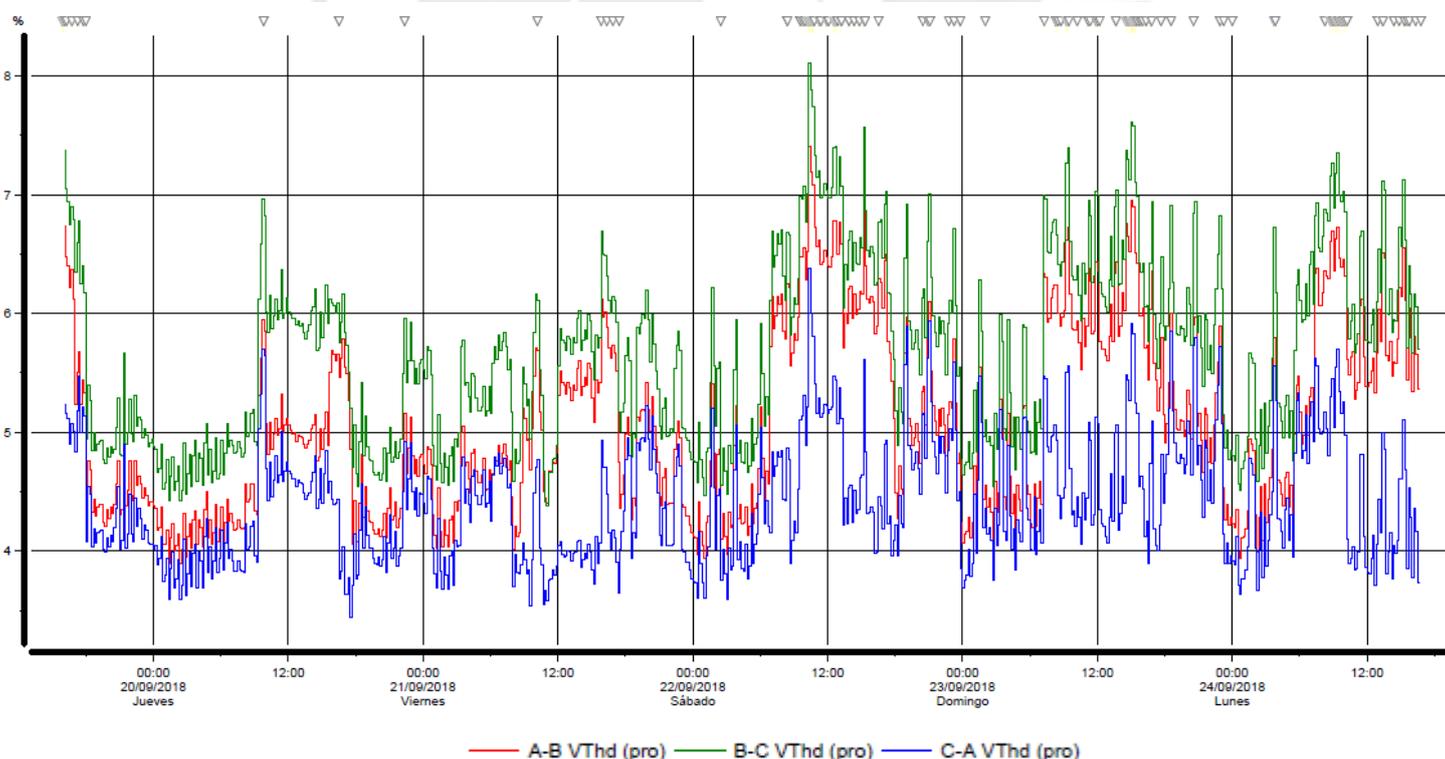


Figura 22: THD tensión - Filtrado

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Se puede observar que en todo el intervalo de medición el porcentaje de distorsión armónica total (TDH, una medida de cuánto su carga está distorsionando la forma de onda perfecta de la potencia proporcionada por su suministrador eléctrico) de tensión tiene un valor promedio que no supera el límite de 8% establecido en la NTCSE.

La figura 23 muestra los Armónicos Individuales.

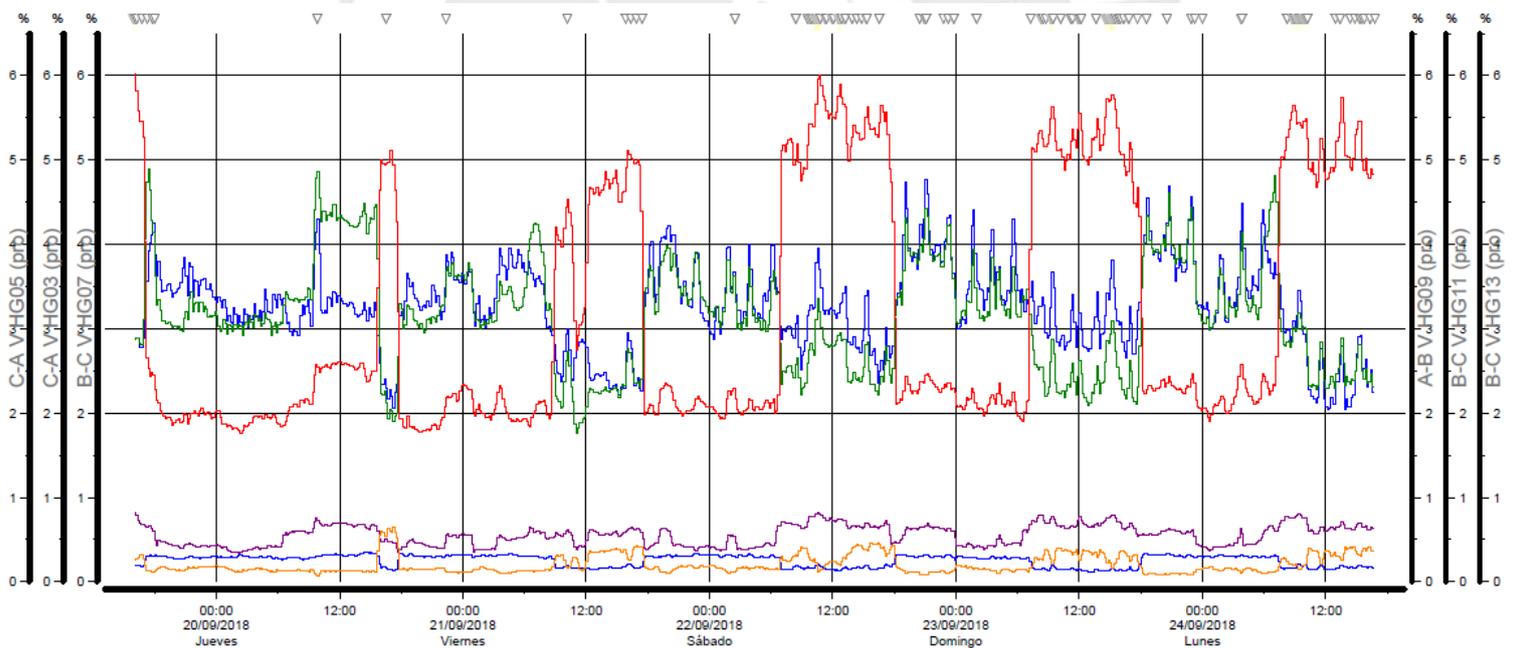


Figura 23: Armónicos Individuales – Filtrado
Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Se grafican los armónicos individuales de las fases más predominantes. Los resultados promedios no sobrepasan el porcentaje recomendado en la NTCSE.

De la medición los armónicos más predominantes son el 5to y el 11avo.

Las tablas 12 y 13 muestran los valores mínimos y máximos de la gráfica THD tensión y de la gráfica armónicos individuales.

Tabla 12: Valores mínimos y máximos de la gráfica THD tensión – NTCSE

	Min	Máx	Pro
A-BVThd	3.895	7.405	5.085
B-CVThd	4.378	8.108	5.681
C-AVThd	3.444	6.381	4.414

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

A-BVThd: Primer punto de THD tensión color rojo

B-CVThd: Segundo punto de THD tensión color verde

C-AVThd: Tercer punto de THD tensión color azul

Tabla 13: Valores mínimos y máximos de la gráfica Armónicos individuales – NTCSE

	Min	Máx	Pro
C-AV HG03	0.1192	0.3481	0.2514
C-AV HG05	2.037	4.761	3.264
B-CV HG07	1.754	4.888	3.153
A-BV HG09	0.332	0.8248	0.5534
B-CV HG11	1.763	6.021	3.169
B-CV HG13	0.06084	0.6406	0.2042

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

C-AV HG03: Primer armónico individual color azul claro

C-AV HG05: Segundo armónico individual color azul oscuro

B-CV HG07: Tercer armónico individual color verde

A-BV HG09: Cuarto armónico individual color morado

B-CV HG11: Quinto armónico individual color rojo

B-CV HG13: Sexto armónico individual color naranja

La figura 24 muestra la comparación entre la Energía Activa y Reactiva.

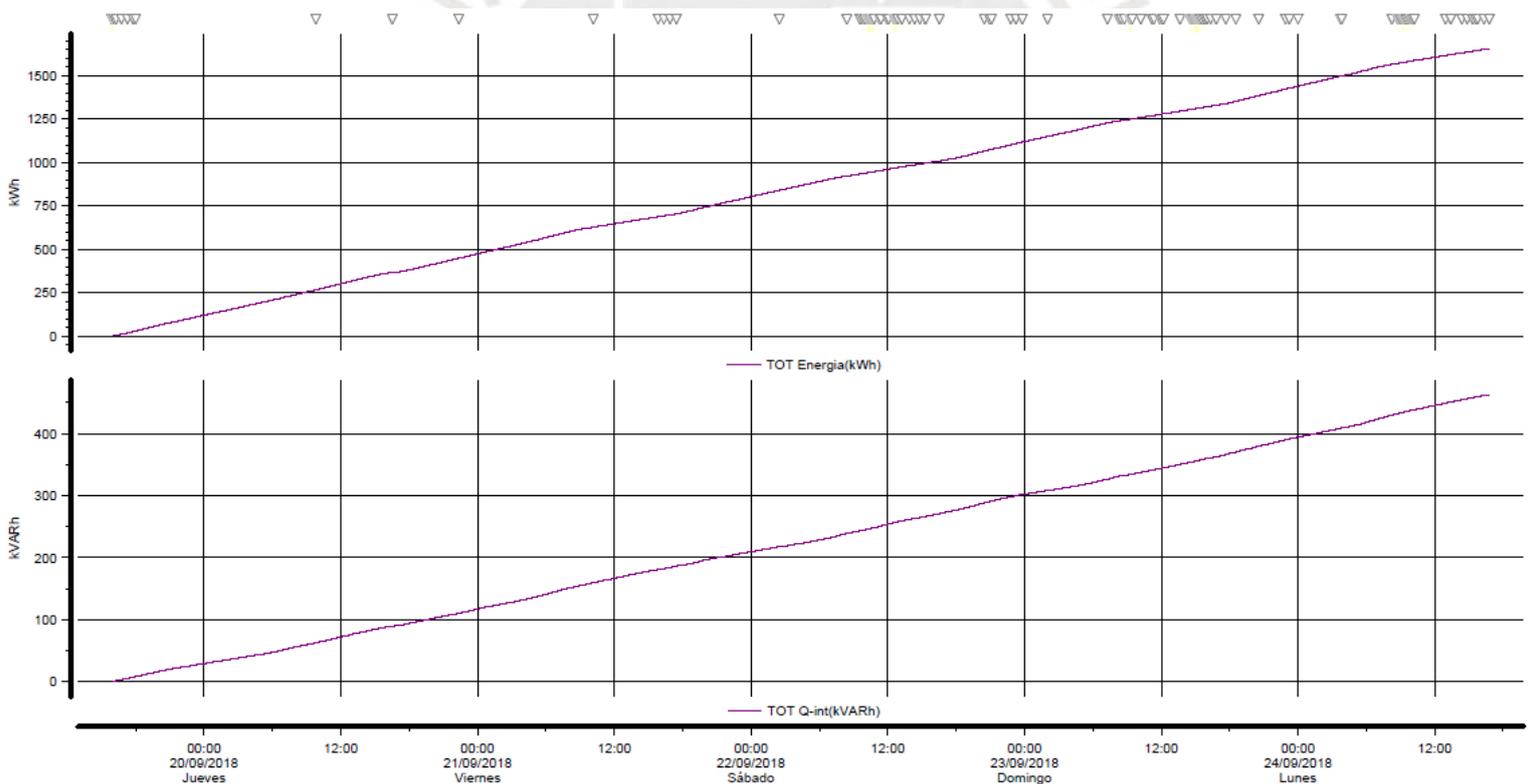


Figura 24: Energías – Filtrado
Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Durante el periodo de medición se obtuvo un consumo de Energía Activa de 1,653 kWh, y de Energía Reactiva de 462.4 kVARh. La energía reactiva es

aquella que generan algunas maquinarias para crear el campo electromagnético y eléctrico que necesitan para funcionar. La energía reactiva solo se generará en los aparatos que tienen una bobina alimentada en corriente alterna, mientras que la activa se genera en todos los aparatos y maquinarias. La tabla 14 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica energías.

Tabla 14: Valores mínimos y máximos de la gráfica Energías – NTCSE

	Máx	Tiempo
TOTEnergia(kWh)	1,653	24/09/2018 16:45
TOTQ-int(kVARh)	462.4	24/09/2018 16:45

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

TOTEnergia(kWh): Energía activa

TOTQ-int(kVARh): Energía reactiva

La figura 25 muestra el comportamiento del Flicker.

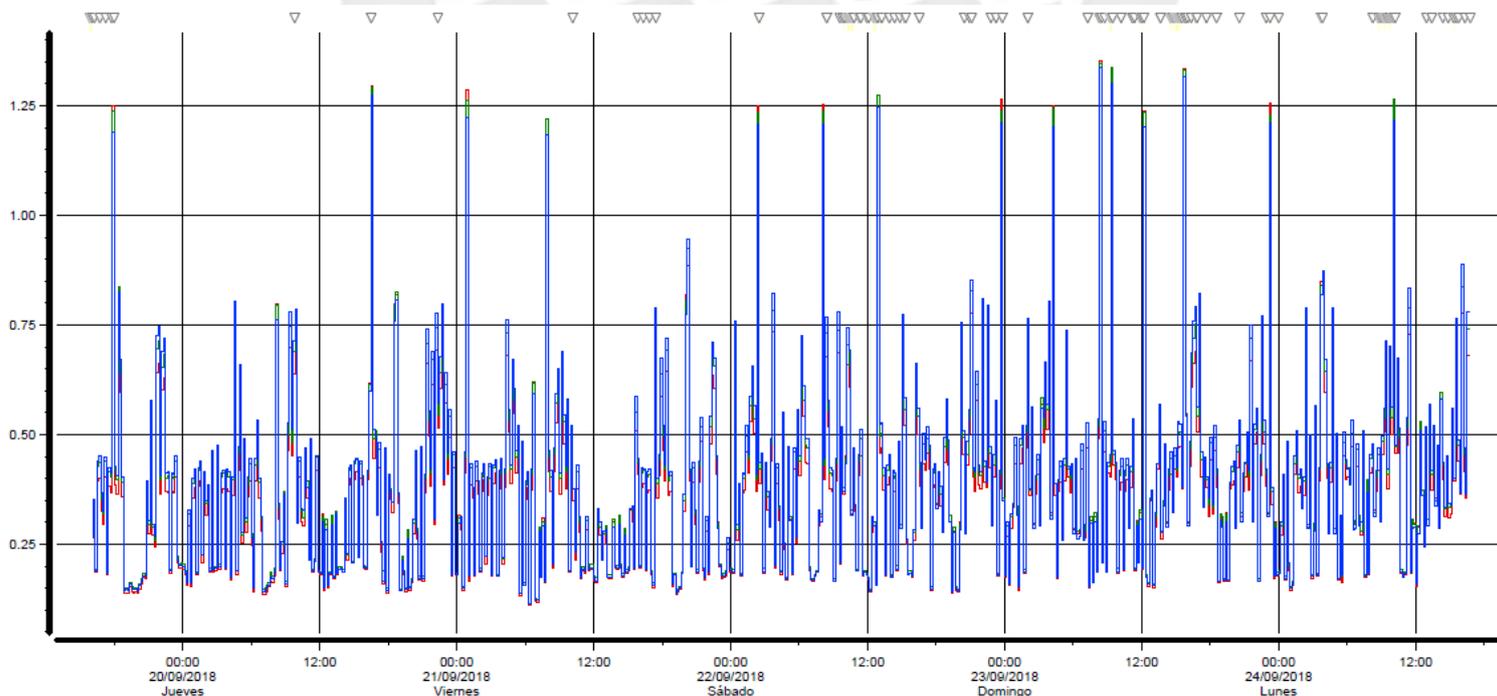


Figura 25: Flicker – Filtrado

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Según NTCSE las tolerancias admitidas es máximo de 1 Pst, siendo el valor promedio de 0.38 Pst encontrado en las mediciones realizadas. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad si la perturbación originada por el Flicker (cambio visible y repetitivo en la intensidad de la luz causado en su mayoría por las fluctuaciones de voltaje en las redes eléctricas) se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas,

por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición.

En tal sentido la tensión se encuentra dentro de los rangos establecidos. La tabla 15 muestra los valores mínimos y máximos de la gráfica Flicker.

Tabla 15: Valores mínimos y máximos de la gráfica Flicker – NTCSE

	Min	Máx	Pro
AVPst	0.1100	1.353	0.3688
BVPst	0.1136	1.347	0.3905
CVPst	0.113	1.336	0.3955

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Flicker: El flicker es un cambio visible y repetitivo en la intensidad de la luz causado en su mayoría por las fluctuaciones de voltaje en las redes eléctricas.

AVPst: Primer punto del Flicker color rojo

BVPst: Segundo punto del Flicker color verde

CVPst: Tercer punto del Flicker color azul

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla 16 muestra un resumen de los valores promedios registrados

Tabla 16: Resumen de las mediciones

Carga	U	IL	P	Q	S	FP	F	Flicker
	V	A	kW	KVAR	KVA	p.u.	Hz	Pst
Salida TR440/220	214.5	41.02	13.69	3.82	15.26	0.894	60	0.38

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

U: Tensión nominal

IL: Corriente

P: Potencia activa

Q: Potencia reactiva

S: Potencia aparente

FP: Factor de potencia

F: Frecuencia

La Tabla 17 muestra los valores promediados de los armónicos registrados

Tabla 17: Valores promedios armónicos

Ubicación	UN	THD	Vh	Medido	Límite NTCSE
	KV			%	%
Salida del transformador 440/220V	0.22	THDV		5.02	8
			Vh3	0.25	5
			Vh5	3.26	6
			Vh7	3.15	5
			Vh9	0.55	1.5
			Vh11	3.16	3.5
			Vh13	0.20	3

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

UN: Potencia eléctrica usada

THD: Distorsión Armónica Total

Vh: Valor de los armónicos

Medido: Porcentaje del armónico medido

Límite NTCSE: Límite porcentual según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)

- De la figura 24 se observa que se tiene periodos cortos por debajo del límite recomendado por la NTCSE (+7.5%), pero se sigue manteniendo dentro del porcentaje de variación permitido, debido a que no se supera tiempo superior al cinco por 5% del período total de medición.

- La frecuencia medida está dentro de los límites recomendados en la NTCSE.

- De la figura 25 se observa que tenemos picos promedios de las 3 fases de 1.3 Pst, pero no se considera como exceso debido a que no supera el valor

recomendado según NTCSE de 1 Pst en un tiempo superior al 5% del período de medición.

- De la figura 20 se aprecia que se tiene un valor promedio de 0.89, el cual se puede ver mejorado implementando equipos de bajo consumo de potencia reactiva como iluminación LED.
- El THD (Distorsión Armónica Total) de tensión no excedió los límites establecidos en la NTCSE (<8%).
- El 5to armónico de tensión es el más predominante pero no sobrepasa el límite recomendado en la NTCSE.

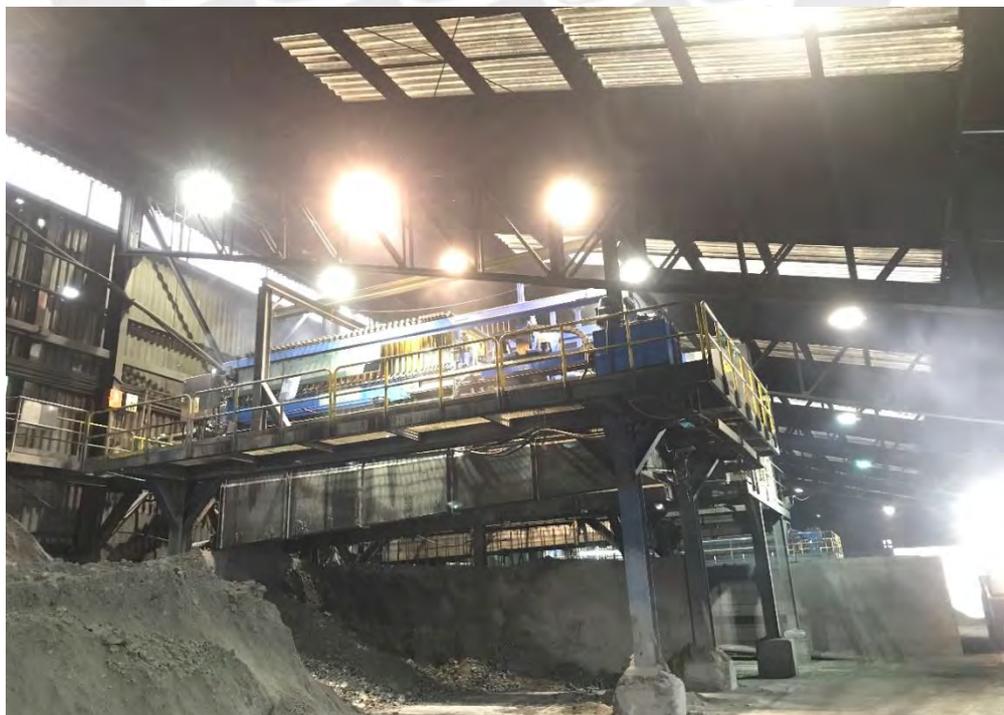
Una vez culminada el estudio de calidad de energía en la zona de filtrados de la planta concentradora con resultados altamente favorables para la compañía, se buscó seleccionar de manera óptima el tipo de luminaria LED.

Primero se identificó el tipo de labor que se realiza en el lugar de estudio, la zona de filtración de concentrados de cobre, zinc y plomo a través de los 3 filtros prensa. Después se evaluaron las condiciones ambientales, la temperatura oscila entre -10°C -15°C en el interior, no existe vibración en el lugar lo cual es conveniente para alargar la vida útil de las luminarias, existen partículas de concentrado en suspensión.

Las figuras 26, 27 y 28 muestran la sección de filtrados



*Figura 26: Fotografía N°1 Zona de filtrados
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 27. Fotografía N°2 Zona de filtrados
Fuente: Elaboración propia*



Figura 28: Fotografía N°3 Zona de filtrados
Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se observa un total de 31 reflectores de halogenuro de 400W en la zona de filtración, los cuales están distribuidos de una manera inadecuada, ya que no se aprovecha el flujo luminoso de cada equipo.

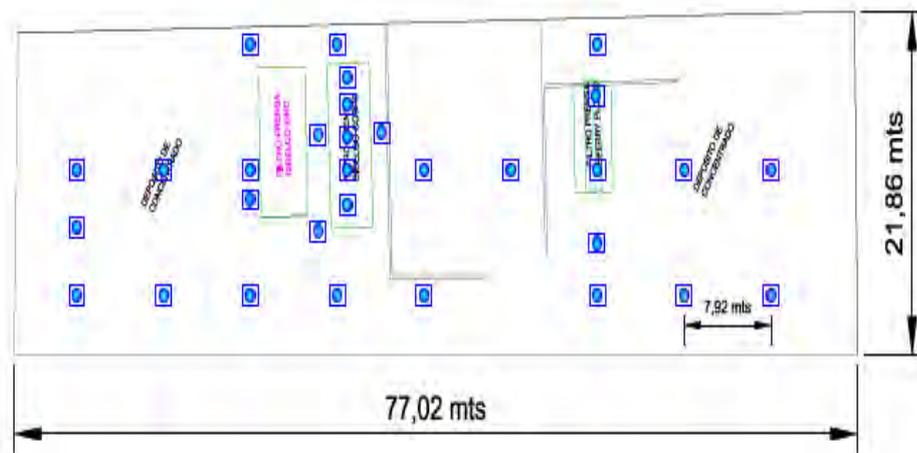
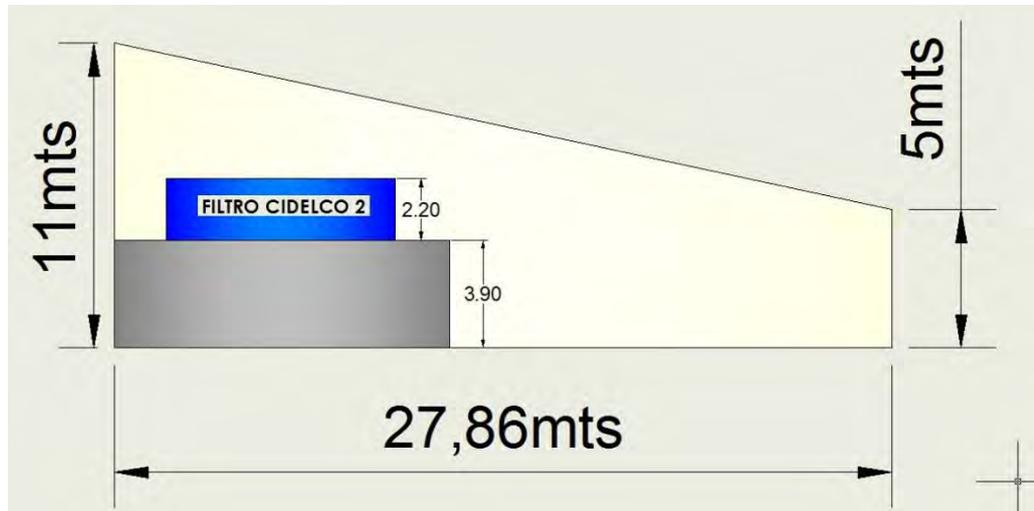


Figura 29. Plano de ubicación de equipos de iluminación en zona de filtrados.
Fuente: Unidad minera

En la figura 30 se muestra el nivel de los filtros respecto al piso, así como también las medidas de la zona visto desde un plano de corte.



*Figura 30: Corte longitudinal en zona de filtrados
Fuente: Unidad minera confidencial*

5.1. Situación Actual

A continuación, se presentará la situación actual en la zona de filtrados y la propuesta de mejora según la correcta distribución de iluminación con resultados en Dialux.

La figura 31 muestra la situación actual de los niveles de luz de la zona de filtrados, obteniéndose los siguientes parámetros: Altura del local: 11.000 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:551

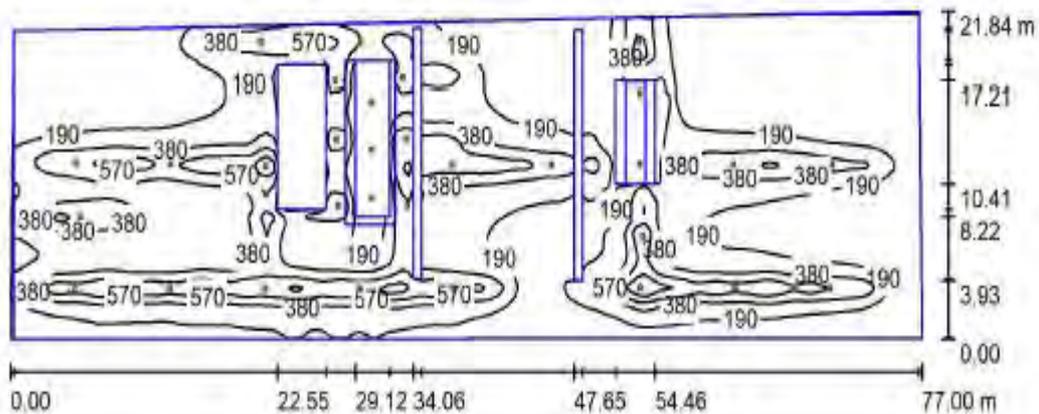


Figura 31: Diagrama Isolux – niveles de luz – Situación actual
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Plano útil:

Altura: 0.850 m

Trama: 128 x 128 Puntos

Zona marginal: 0.000 m

La tabla 18 muestra los valores generados por Dialux para la situación actual de la zona de filtrados.

Tabla 18: Valores de luxes generados en Dialux para situación actual

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	266	19	953	0.07
Suelo	20	237	8.17	840	0.034
Techo	70	0.85	0.21	3.89	0.249
Paredes	50	67	6.55	1563	/

Fuente: Informe de calidad de energía SONEPAR

Valor de eficiencia energética: $8.45 \text{ W/m}^2 = 13696 \text{ W} / 1621.22 \text{ m}^2$

Los resultados (Figura 32, 33 y 34) y tablas 19 y 20 corresponden a una corrida en toda el área de filtrados.

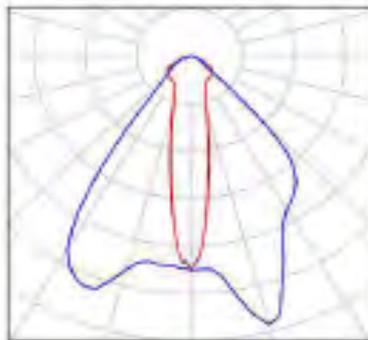


Figura 32. Distribución fotométrica del reflector halogenuro
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR



Escala 1: 551

Figura 33. Plano de corte de superficie de cálculo en situación actual
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Tabla 19: Lista de superficies de cálculo en situación actual

N°	Designación	Tipo	Trama	Em [lx]	Em in [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
1	DEPÓSITO DE CONCENTRADO	Perpendicular	64 x 64	398	193	943	0.486	0.205
2	FILTRO PRENSA CIDELCO COBRE	Perpendicular	128 x 128	1686	556	8550	0.33	0.065
3	FILTRO PRENSA SPERRY PLOMO	Perpendicular	32 x 64	965	232	5365	0.24	0.043
4	ESPACIO	Perpendicular	64 x 64	315	133	713	0.422	0.187
5	DEPOSITO CONCENTRADO	Perpendicular	64 x 64	294	109	742	0.37	0.147

6	PASADIZO	Perpendicular	128 x 16	369	92	978	0.25	0.094
---	----------	---------------	----------	-----	----	-----	------	-------

Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Tabla 20: Resumen de los resultados en situación actual

Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
Perpendicular	6	530	92	8,550	0.17	0.01

Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Los resultados obtenidos ya son a detalle y específicamente por zonas del área total.



Figura 34: Zona de investigación procesado en 3D situación actual
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

5.2. Propuesta

Las figuras 35, 36, 37, 38 y 39 y tablas 21, 22 y 23 muestran los resultados de la propuesta utilizando el software Dialux.

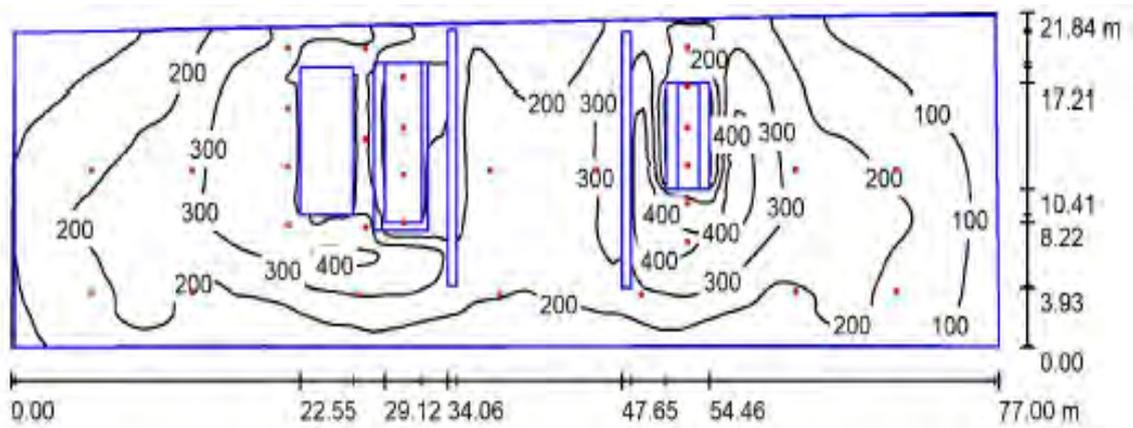


Figura 35: Diagrama Isolux – niveles de luz – Propuesta mejora
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Altura del local: 11.000 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux,

Plano útil:

Altura: 0.850 m

Trama: 128 x 128 Puntos

Zona marginal: 0.000 m

Tabla 21: Valores de luxes generados en Dialux en propuesta de mejora

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	266	19	953	0.07
Suelo	20	237	8.17	840	0.034
Techo	70	0.85	0.21	3.89	0.249
Paredes	50	67	6.55	1563	/

Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Valor de eficiencia energética: $3.95 \text{ W/m}^2 = 6400 \text{ W} / 1621.22 \text{ m}^2$

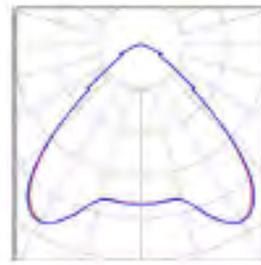


Figura 36: Distribución fotométrica del equipo LED (Prueba Piloto SONEPAR)
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

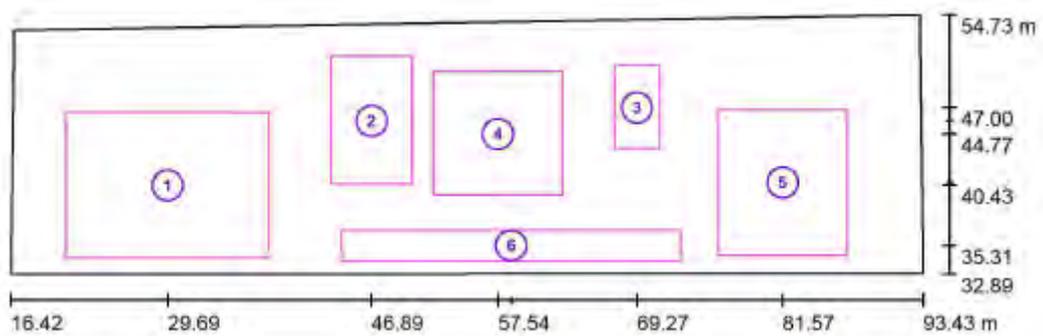


Figura 37. Plano de corte de superficie de cálculo en propuesta de mejora
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Tabla 22: Lista de superficies de cálculo en propuesta de mejora

N°	Designación	Tipo	Trama	Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
1	DEPÓSITO DE CONCENTRADO	Perpendicular	64 x 64	227	121	359	0.532	0.337
2	FILTRO PRENSA CIDELCO COBRE	Perpendicular	32 x 64	1176	596	1820	0.506	0.327
3	FILTRO PRENSA SPERRY PLOMO	Perpendicular	32 x 64	1154	677	1651	0.586	0.410
4	ESPACIO	Perpendicular	32 x 32	260	181	345	0.696	0.525
5	DEPOSITO CONCENTRADO	Perpendicular	32 x 32	224	130	312	0.580	0.416
6	PASADIZO	Perpendicular	128 x 8	230	156	319	0.681	0.490

Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Tabla 23: Resumen de los resultados en propuesta de mejora

Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
Perpendicular	6	380	121	1820	0.32	0.07

Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

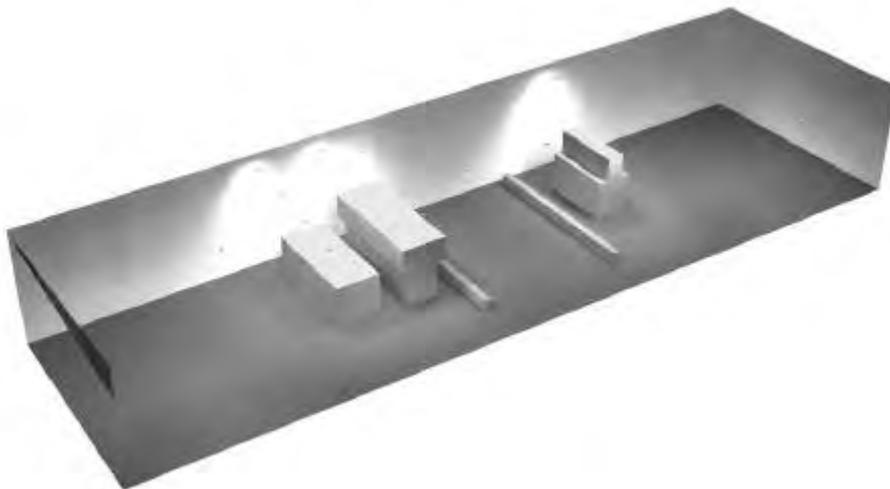


Figura 38: Zona de investigación procesada en 3D propuesta de mejora
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

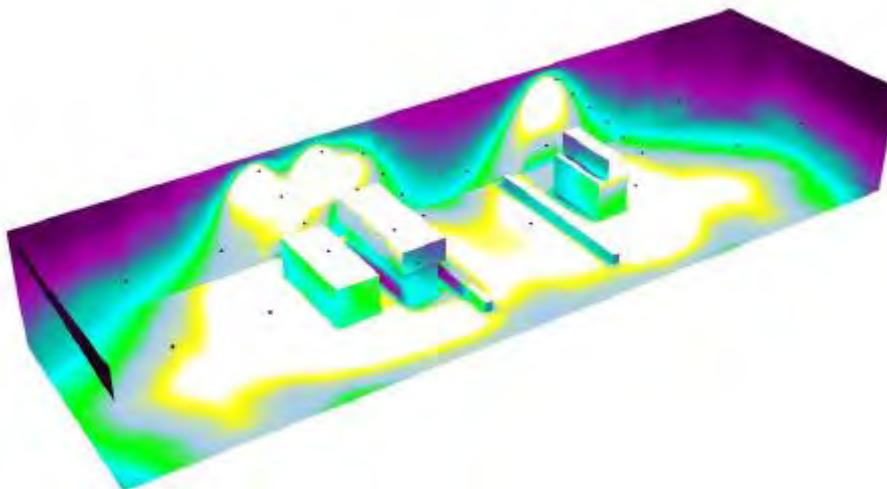


Figura 39: Zona de investigación procesada en 3D (Falsos colores) propuesta de mejora
Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Los resultados presentados por el software Dialux muestran la iluminación media, así como también la uniformidad que se van a comparar con los estándares de la NORMA DE ALUMBRADO DE INTERIORES Y CAMPOS DEPORTIVOS (DGE 017-AI-1/1982). La tabla 24 muestra una comparación de resultados entre la situación actual y la propuesta de mejora.

Tabla 24: Comparación entre los resultados de situación actual frente a propuesta de mejora

		Situación actual	Propuesta de mejora	Normativa	Situación actual	Propuesta de mejora	Normativa
N°	Designación	Em [lx]	Em [lx]	DGE 017-AI-1/1982	Emin / Em	Emin / Em	DGE 017-AI-1/1982
1	Depósito de concentrado	398	227	[200-500]	0.486	0.532	Valor más próximo a 1
2	Filtro prensa cidelco cobre	1,686	1176	[1,000 - 2,000]	0.33	0.506	Valor más próximo a 1
3	Filtro prensa sperry plomo	965	1154	[1,000 - 2,000]	0.24	0.586	Valor más próximo a 1
4	Espacio	315	260	[200-500]	0.422	0.696	Valor más próximo a 1
5	Deposito concentrado	294	224	[200-500]	0.37	0.58	Valor más próximo a 1
6	Pasadizo	369	230	[200-500]	0.25	0.681	Valor más próximo a 1

Fuente: Prueba Piloto SONEPAR

Los principales indicadores son la Iluminación media (Em [lx]) y la uniformidad (Emin / Em), mientras el primero nos indica la cantidad de luxes el otro es un valor establecido por normativa que indica mejor sostenibilidad mientras el valor esté más próximo a 0. En todos los escenarios por diferentes zonas del área de filtrados se observa que la propuesta tiene mejores indicadores según la normativa DGE 017-AI-1/1982.

Finalmente se hace la comparación del valor de la eficiencia energética

- Situación actual: 8.45 W/m²

- Propuesta: 3.95 W/m²

La potencia en la situación actual es significativamente mayor frente a la propuesta mejorada por consumir mayor cantidad de vatios por unidad de área; en otras palabras, por el consumo de cada reflector de halogenuro usado se está desaprovechando 4.5 W/m² en consumo de energía por no usar luminarias LED.

5.3. Análisis económico

Para este análisis se contemplaron las siguientes consideraciones:

- Costo de kW-h de \$ 0.0775. De acuerdo a lo establecido en el contrato de suministro de energía.
- Como ya se mencionó, se realizó un análisis para determinar la cantidad de luminarias que se necesitará para cubrir todos los puntos de la planta concentradora. Este análisis determinó que se necesitan 31 luminarias en total.
- Las luminarias con las que se cuenta actualmente son las HIGH BAY HPI de 400W, y se quiere reemplazarlos por las HIGH BAY LED de 200W. Cabe resaltar que, en el primer caso se precisa de la luminaria más su reflector.

5.3.1. Costo de Energía

Las luminarias con las que se cuenta consumen 400W, mientras que las luminarias LED solo la mitad de ese valor, además se cuenta con el costo de energía que es 7.75 centavos de dólar por kW-h. La tabla 25 muestra una comparación entre la iluminación actual y el propuesto, obteniéndose un ahorro de 4,209.18 USD/año siendo que el consumo de energía por año es más del doble en las luminarias convencionales en comparación con las luminarias LED.

Por lo tanto, se puede obtener también el costo de cada luminaria por año. Y en total si se realiza el costo total de energía en la planta concentradora, se puede observar un ahorro significativo al año para el reducido número de luminarias con el que se cuenta.

Tabla 25: Comparación del consumo de energía del HIGH BAY HPI 400W vs HIGH BAY LED 200W

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Potencia Instal. por punto luminoso	400	200	W
Consumo de energía/año	3,504.00	1,752.00	kW-h/año
Costo de la Energía Kwh	0.0775	0.0775	USD/kWh
Costos energía/ luminaria/año	271.56	135.78	USD/año
Costo Total de la Energía	8,418.36	4,209.18	USD/año
	Ahorro	4,209.18	USD/año

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Costo de Inversión

La tabla 26, muestra el precio de las luminarias tanto las convencionales como las luminarias LED. Se puede observar en caso de las luminarias convencionales que, además del reflector se adicionan los costos del kit, en el cual se incluyen el precio de la lámpara, balasto, ignitor y condensador, en donde en la tabla 27, se detalla el costo de cada uno.

Tabla 26: Comparación del costo de inversión de cada luminaria.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Precio Kit: (Lámpara + Balasto + Ignitor + condensador)	34.74	0	USD
Precio /Luminaria	76.24	230.00	USD
Duración de la Lámpara	20,000	50,000	horas
Kit de reemplazo/año	0.44	0.18	
Costos de Kit/año	15.22	0.00	USD/año
Costo Total/Año	471.70	0.00	USD/año
	Diferencia	471.70	USD/año

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Precio de los componentes del kit.

PRECIO DEL KIT	
Condensador	\$ 1.48
Ignitor	\$ 11.33
Lampara	\$ 15.06
Balasto	\$ 6.87

Fuente: Elaboración propia

Estos precios fueron tomados a la fecha, los cuales pueden variar dependiendo de la demanda de estos. La inversión de las luminarias LED es mayor que las luminarias convencionales, pero el kit consta de varias partes, donde el tiempo de vida depende de varios factores como temperatura, presión, humedad.

5.3.3. Costo de Mantenimiento

La tabla 28 muestra que las luminarias LED no necesitan adicionar costo por mantenimiento, a comparación de las luminarias convencionales. Para este análisis financiero, se ha considerado un costo anual por mano de obra de 40 USD por cada luminaria.

Tabla 28: Cuadro comparativo de los costos de mantenimiento de cada luminaria.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Costo reemplazo por punto de luz	0	0	USD
Costo reemplazo por punto incluido M. Obra y Andamio	40.00	0.00	USD/año
Costo Total reemplazo/año	1,240.00	0.00	USD/año
	Diferencia	1,240.00	USD/año

Fuente: Elaboración propia

5.4. Economía Energética

La tabla 29 muestra la comparación de la economía energética generado por la luminaria LED

Tabla 29: Comparación de la economía energética.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Inversión Inicial Compra Luminarias	2,363.44	7,130.00	USD/año
Costo Total anual Energía/M.Obra/Kit Reemplazado	10,130.06	4,209.18	USD
	Ahorro/año	5,920.88	USD/año
Período de Payback o Retorno del Capital		0.81	Años
CO2 Ahorrado en KG		22,811.04	Kg.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, sumando los costos de cada luminaria se puede calcular el ahorro generado al finalizar el tiempo de vida del proyecto. El ahorro anual de USD 5,920.88 es solo del área de filtrados de la planta concentradora utilizándose 31 luminarias y 6 años de vida. Además, se ha evaluado el ahorro de CO₂, en kilogramos, emitidos al ambiente. Finalmente, también se calculó el tiempo que toma en recuperar la inversión.

CAPÍTULO 6

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la evaluación económica se contemplaron las siguientes consideraciones:

- La evaluación se realizará para una proyección de 6 años, puesto que 50,000 horas es el tiempo de vida útil aproximada de cada luminaria LED.
- Valor de salvamento al finalizar la vida útil de la luminaria igual a cero.
- Tasa de interés efectiva anual de 10%, ya que el análisis abarca 6 años.
- Periodos de funcionamiento de 24 horas de la luminaria durante 365 días del año. Lo que equivale a 8,760 horas al año.

6.1. Flujo de caja

La tabla 30 y la figura 40 muestran el flujo de caja donde tomamos como egreso la inversión inicial por adquirir las luminarias LED, mientras que los ingresos serían los costos calculados en el capítulo 5 representados como ahorro anual.

Tabla 30: Entradas y salidas de dinero proyectados a 6 años

Año	Inversión	1	2	3	4	5	6
Egreso	\$ -7,130.00						
Ingreso		\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18
Flujo	\$ -7,130.00	\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18	\$4,209.18

Fuente: Elaboración propia

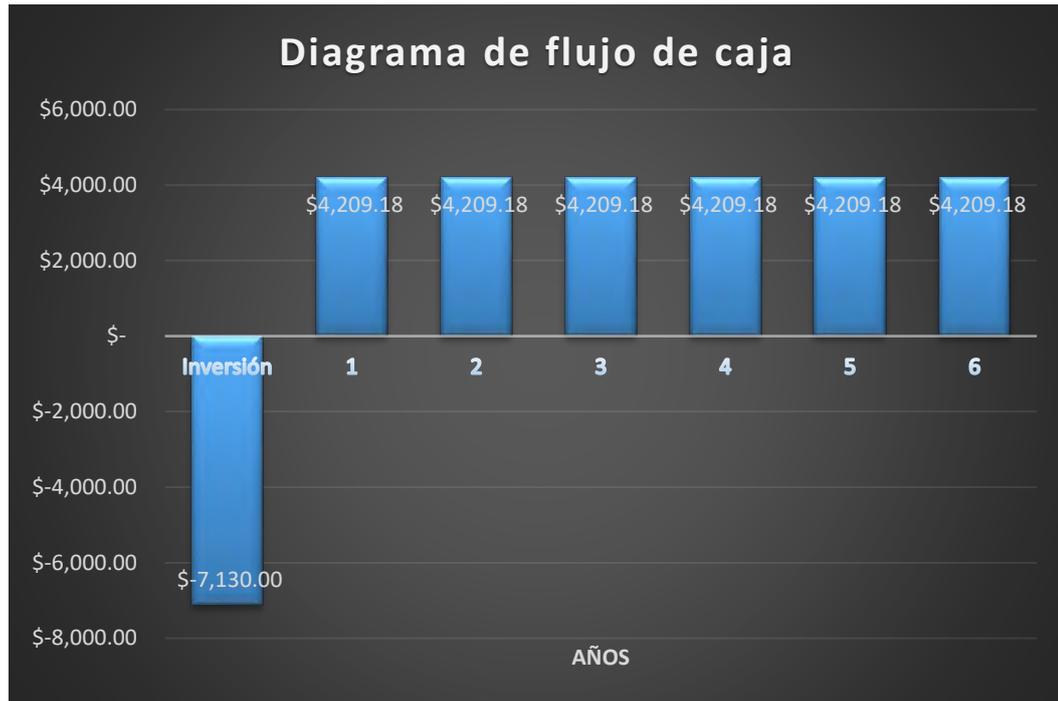


Figura 40: Flujo de caja
Fuente: Elaboración propia

La tabla 31 muestra el TIR y el VAN donde se demuestra que la propuesta es altamente rentable.

Tabla 31: TIR y VAN del proyecto

TIR	24%
VAN	\$11,202.08

Fuente: Elaboración propia

6.2. Payback o Retorno

La figura 41 muestra las curvas de tendencia de ambas tecnologías, donde se observa que las luminarias convencionales al finalizar los 6 años de vida, tendrá un costo de \$ 64,221.00, mientras que, si se opta por las luminarias LED, el costo solo será de \$ 32,385.00.

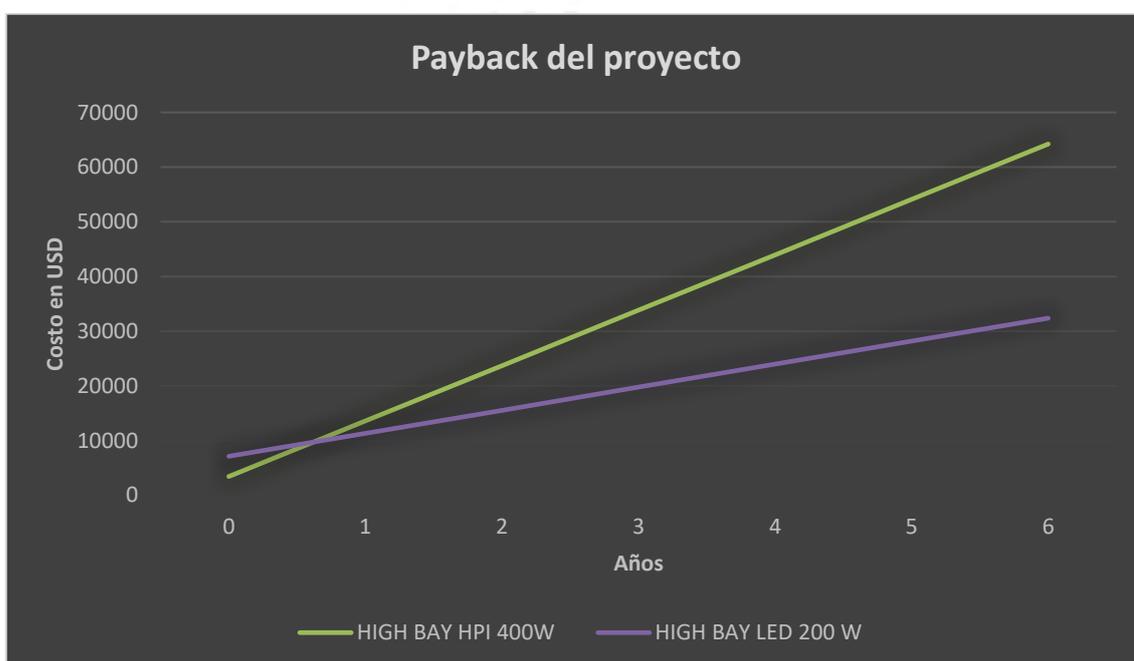


Figura 41: Payback
Fuente: Elaboración propia

Realizándose la evaluación, se puede obtener un ahorro anual de \$ 5,920.88 para un área de la planta concentradora, y utilizándose 31 luminarias para el cálculo, considerando además el poco tiempo de vida del proyecto.

La inversión de las luminarias LED es mucho mayor que las luminarias convencionales. Sin embargo, como se puede observar en la tabla 29, el retorno de la inversión se realiza en menos de un año. En este sentido, si se sigue utilizando las luminarias convencionales al finalizar los 6 años se tendrá un costo

de \$ 64,221.00 mientras que, si se opta por las luminarias LED, el costo solo será de \$ 33,385.00.

La inversión de las luminarias convencionales, puede variar ya que en el kit que lo compone, hay varios componentes donde su tiempo de vida depende de varios factores tales como temperatura, presión, humedad, considerándose estos factores para la evaluación.

A pesar de que el ciclo de este proyecto es corto, se obtuvo un valor actual neto de \$39,749.30 y una tasa interna de retorno de 24% por lo que se puede decir que este proyecto es altamente rentable.

La cantidad de CO₂ ahorrados también es un indicador a resaltar, puesto que son más de 80 toneladas por año y esto contribuye en el cuidado del medioambiente.

Con el TIR y el VAN obtenidos, se realizó una proyección a gran escala para poder observar el ahorro general de la mina.

CAPÍTULO 7

7. PROYECCIÓN

Pensando en la aplicación industrial, se realizó proyecciones a gran escala dividiéndolo en dos: planta y mina.

7.1. Planta

Se va a tener las mismas consideraciones de la prueba piloto tales como

- Costo actual de energía: 7.75 centavos de dólar.
- Tiempo de vida del análisis: 6 años.
- Tasa de interés: 10%
- Valor de salvamento al finalizar la vida útil: cero.
- Periodo de funcionamiento de las luminarias: 24 horas
- Total, de horas anuales: 8,760 horas.
- La cantidad de puntos de luz de la planta concentradora de la unidad

minera es 110.

7.1.1. Costo de energía

La tabla 32 muestra una comparación en el consumo de energía de los dos diferentes tipos de luminarias.

Tabla 32: Comparación del consumo de energía del HIGH BAY HPI 400W vs HIGH BAY LED 200W

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Potencia Instalada por punto luminoso	400	200	W
Consumo de energía/año	3,504.00	1,752.00	Kwh/año
Costo de la Energía Kwh	0.0775	0.0775	USD/Kwh
Costos energía/ luminaria/año	271.56	135.78	USD/año
Costo Total de la Energía	29,871.60	14,935.80	USD/año
	Ahorro	14,935.80	USD/año

Fuente: Elaboración propia

Como se han considerado un total de 110 luminarias LED, se observa un ahorro anual relevante. El ahorro se encuentra cerca a los 14 mil dólares al año y proyectándolo a los 6 años que dura el proyecto sería 84 mil dólares aproximadamente sin considerar la tasa de descuento (que se determina teniendo en cuenta el riesgo del sector y sus otros componentes).

7.1.2. COSTO DE INVERSIÓN

La tabla 33 muestra una comparación en el costo de inversión de los dos diferentes tipos de luminarias

Tabla 33: Comparación del costo de inversión de cada luminaria.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Precio Kit: (Lámpara + Balasto + Ignitor + condensador)	34.74	0.00	USD
Precio /Luminaria	76.24	230.00	USD
Duración de la Lámpara	20,000	50,000	horas
Kit de reemplazo/año	0.44	0.18	
Costos de Kit/año	15.22	0.00	USD/año
Costo Total/Año	1,673.77	0.00	USD/año
	Diferencia	1,673.77	USD/año

Fuente: Elaboración propia

Observando la tabla 33 hay un ahorro sustancial ya que se aumentó la cantidad de luminarias. Para este caso, el costo corresponde al reemplazo generado por parte del kit de la luminaria convencional ya que el tiempo de vida de la lámpara es de 20,000 horas por lo que se tendrá que cambiar a razón de 0.22 veces al año aproximadamente, con lo que se ahorraría unos 1,673.77 dólares al año.

7.1.3. COSTO DE MANTENIMIENTO

La tabla 34 muestra una comparación del costo de mantenimiento de cada luminaria

Tabla 34: Cuadro comparativo de los costos de mantenimiento de cada luminaria.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Costo reemplazo por punto de luz	0	0	USD
Costo reemplazo por punto incluido M. Obra y Andamio	40.00	0	USD/año
Costo Total reemplazo/año	4,400.00	0	USD/año
	Diferencia	4,400.00	USD/año

Fuente: Elaboración propia

El costo de mantenimiento aumenta ya que se elevó la cantidad de luminarias. En este caso, se consideró un costo de 40 dólares al año, que incluye mano de obra y materiales tales como andamio y línea de vida.

La tabla 35 muestra una comparación del ahorro total generado por la luminaria LED

Tabla 35: Comparación del ahorro total generado por la luminaria LED.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Inversión Inicial Compra Luminarias	8,386.40	25,300.00	USD/año
Costo Total anual Energía/M.Obra/Kit Reemplazado	35,945.37	14,935.80	USD
	Ahorro/año	21,009.57	USD/año
Período de Payback o Retorno del Capital		0.81	Años
CO2 Ahorrado en KG		80,942.40	Kg.

Fuente: Elaboración propia

En resumen, sumando todos los ahorros, se tiene una estimación de 21,009.57 USD por año. Además, el retorno de capital se sigue manteniendo debido a que son dos funciones lineales. Finalmente, se destaca la importante cantidad ahorrada de CO₂ emitida al medioambiente.

7.1.4. FLUJO DE CAJA

La tabla 36 y figura 42, muestra el flujo de caja proyectado a 6 años, además la tabla 37 muestra el TIR y el VAN para la planta.

Tabla 36: Entradas y salidas de dinero proyectados a 6 años para planta

Año	Inversión	1	2	3	4	5	6
Egreso	\$ -25,300.00						
Ingreso		\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80
Flujo	\$ -25,300.00	\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80	\$14,935.80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: TIR y VAN de la proyección en planta

TIR	24%
VAN	\$39,749.30

Fuente: Elaboración propia

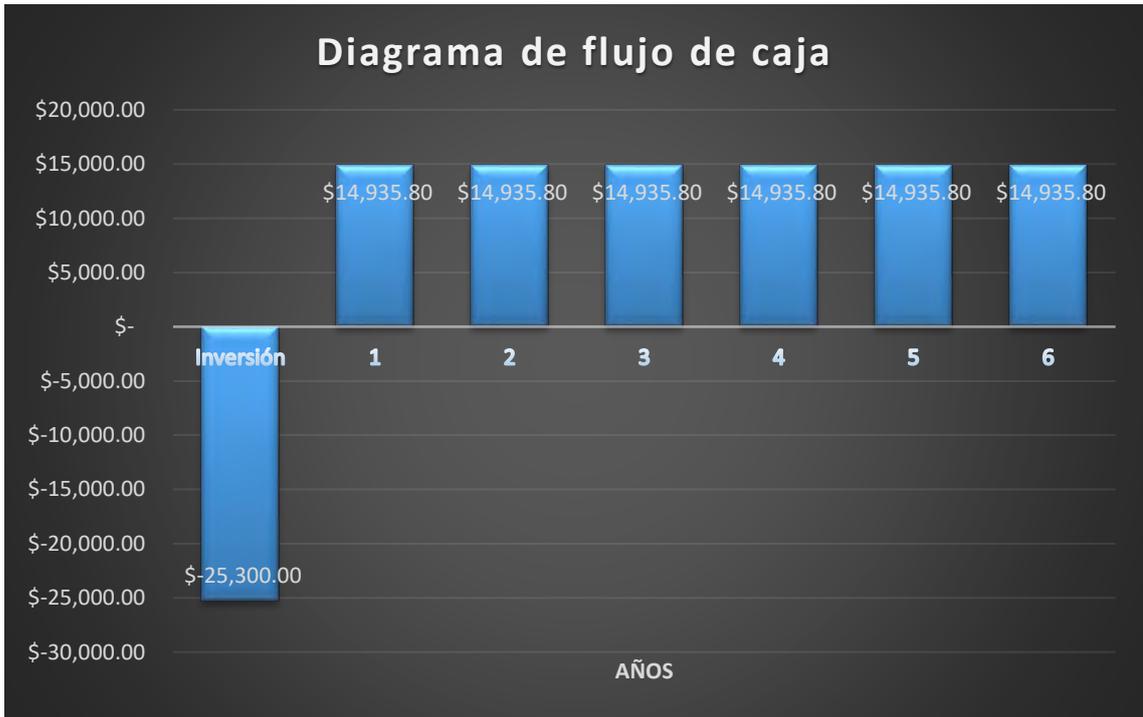


Figura 42: Flujo de caja planta
Fuente: Elaboración propia

7.1.5. Payback o Retorno

La figura 43 muestra el retorno proyectado a 6 años.

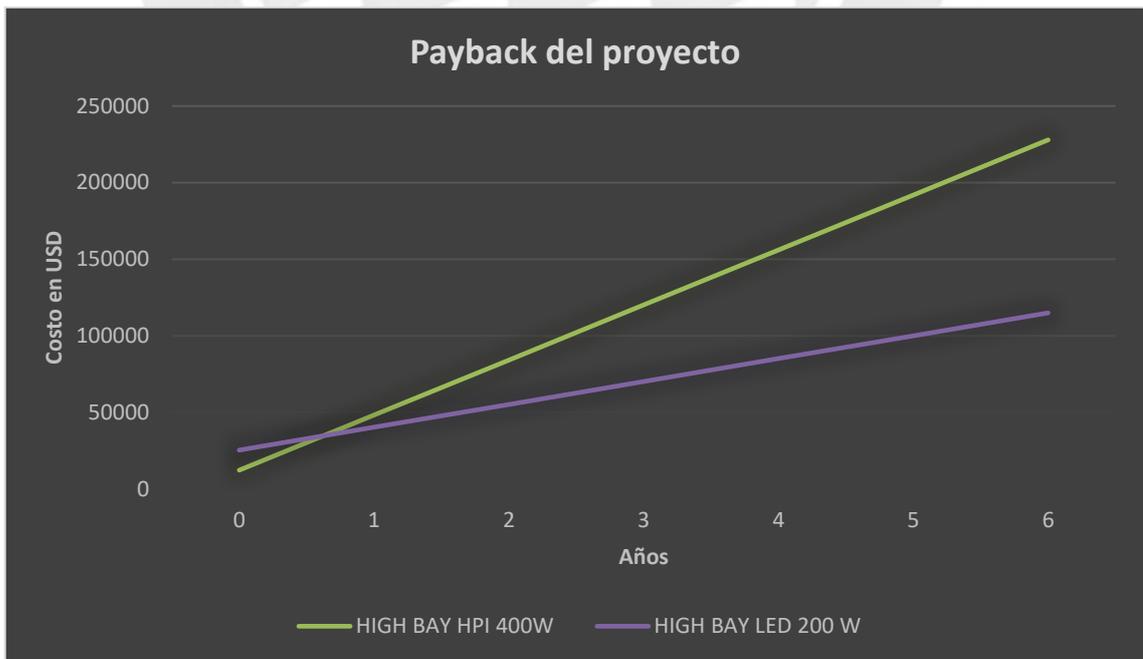


Figura 43: Payback de la proyección en planta
Fuente: Elaboración propia

La figura 43 muestra las curvas de tendencia de ambas tecnologías, donde se observa que las luminarias convencionales al finalizar los 6 años de vida, tendrá un costo de \$ 227,880 mientras que, si se opta por las luminarias LED, el costo solo será de \$ 114,915.

7.2. Mina

De la misma forma, se va a tener las mismas consideraciones del ensayo piloto, los cuales son:

- Costo actual de energía: 7.75 centavos de dólar.
- Tiempo de vida del análisis: 6 años.
- Tasa de interés: 10%
- Valor de salvamento al finalizar la vida útil: cero.
- Periodo de funcionamiento de las luminarias: 24 horas
- Total, de horas anuales: 8,760 horas.
- La cantidad de puntos de iluminación de la mina es 340.

7.2.1. Costo de Energía

La tabla 38 muestra una comparación entre el consumo de energía de las dos luminarias.

Tabla 38: Cuadro comparativo entre el consumo de energía del HIGH BAY HPI 400W – HIGH BAY LED 200W

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Potencia Instalada, por punto luminoso	400	200	W
Consumo de energía/año	3,504.00	1,752.00	kWh/año
Costo de la Energía kWh	0.0775	0.0775	USD/kWh
Costos energía/ luminaria/año	271.56	135.78	USD/año
Costo Total de la Energía	92.330.40	46,165.20	USD/año
	Ahorro	46,165.20	USD/año

Fuente: Elaboración propia

Como se han considerado un total de 340 luminarias LED, se observa un ahorro anual relevante. El ahorro se encuentra cerca a los 46 mil dólares al año y proyectándolo a los 6 años que dura el proyecto sería 276 mil dólares aproximadamente sin considerar la tasa de descuento (que se determina teniendo en cuenta el riesgo del sector y sus otros componentes).

7.2.2. Costo de inversión

La tabla 39 muestra una comparación del costo de inversión de cada luminaria.

Tabla 39: Cuadro comparativo entre del costo de inversión de cada luminaria.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Precio Kit: (Lámpara + Balasto + Ignitor + condensador)	34.74	0.00	USD
Precio /Luminaria	76.24	230.00	USD
Duración de la Lámpara	20,000	50,000	horas
Kit de reemplazo/año	0.44	0.18	
Costos de Kit/año	15.22	0.00	USD/año
Costo Total/Año	5,173.48	0.00	USD/año
	Diferencia	5,173.48	USD/año

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de luminarias aumenta a 340 por lo cual el ahorro será mayor, por lo que el costo corresponde al reemplazo generado por parte del kit de la

luminaria convencional ya que el tiempo de vida de la lámpara es de 20,000 horas por lo que se tendrá que cambiar a razón de 0.22 veces al año aproximadamente, con lo que se ahorraría unos 5,173.48 dólares al año.

7.2.3. Costo de mantenimiento

La tabla 40 muestra la comparación del costo de mantenimiento de cada luminaria

Tabla 40. Comparación de los costos de mantenimiento de cada luminaria.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Costo reemplazo por punto de luz	0	0	USD
Costo reemplazo por punto incluido M. Obra y Andamio	40.00	0	USD/año
Costo Total reemplazo/año	13,600.00	0	USD/año
	Diferencia	13,600.00	USD/año

Fuente: Elaboración propia

El costo de mantenimiento solo se genera por las luminarias convencionales ya que al ser menos confiables ocasionará gastos adicionales a la unidad minera. En este caso, al igual que en los demás casos, se ha considerado un costo de 40 dólares al año lo que incluye mano de obra y materiales tales como andamio y línea de vida.

La tabla 41 muestra una comparación entre los dos tipos de luminarias

Tabla 41: Comparación del ahorro total generado por la luminaria LED.

	HIGH BAY HPI 400W	HIGH BAY LED 200 W	UNIDADES
Inversión Inicial Compra Luminarias	25,921.60	78,200.00	USD/año
Costo Total anual Energía/M.Obra/Kit Reemplazado	111,103.88	46,165.20	USD
	Ahorro/año	64,938.68	USD/año
Período de Payback o Retorno del Capital		0.81	Años
CO2 Ahorrado en KG		250,185.60	Kg.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 41 se han consolidado todos los ahorros generados por implementación de mina debido a este cambio de tecnología. Se puede notar que la inversión de las luminarias convencionales es casi 26 mil dólares contra los más de 78 mil dólares de las luminarias LED al año. Sin embargo, evaluando el costo total que implica implementar luminarias LED frente a las convencionales vemos un ahorro significativo de aproximadamente 65 mil dólares.

7.2.4. FLUJO DE CAJA

Tabla 42: Entradas y salidas de dinero proyectados a 6 años para planta

Año	Inversión	1	2	3	4	5	6
Egreso	-\$78,200.00						
Ingreso		\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20
Flujo	-\$78,200.00	\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20	\$46,165.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: TIR y VAN de la proyección en planta

TIR	24%
VAN	\$122,861.48

Fuente: Elaboración propia

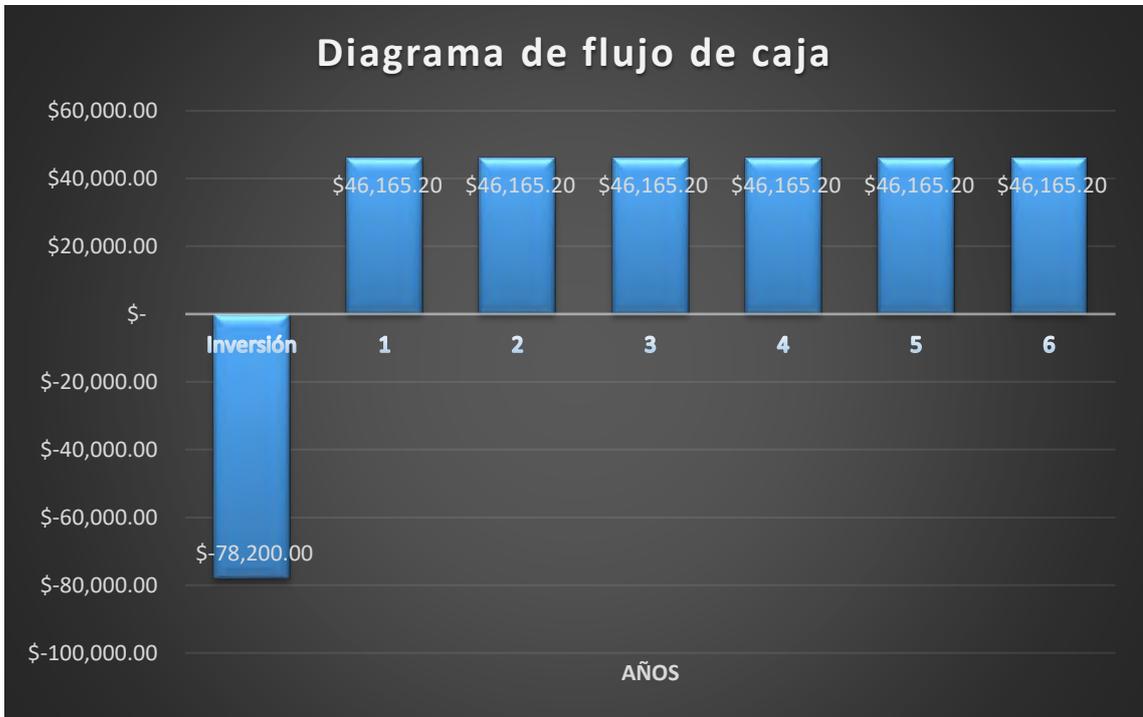


Figura 44: Flujo de caja mina
Fuente: Elaboración propia

7.2.5. Payback o Retorno

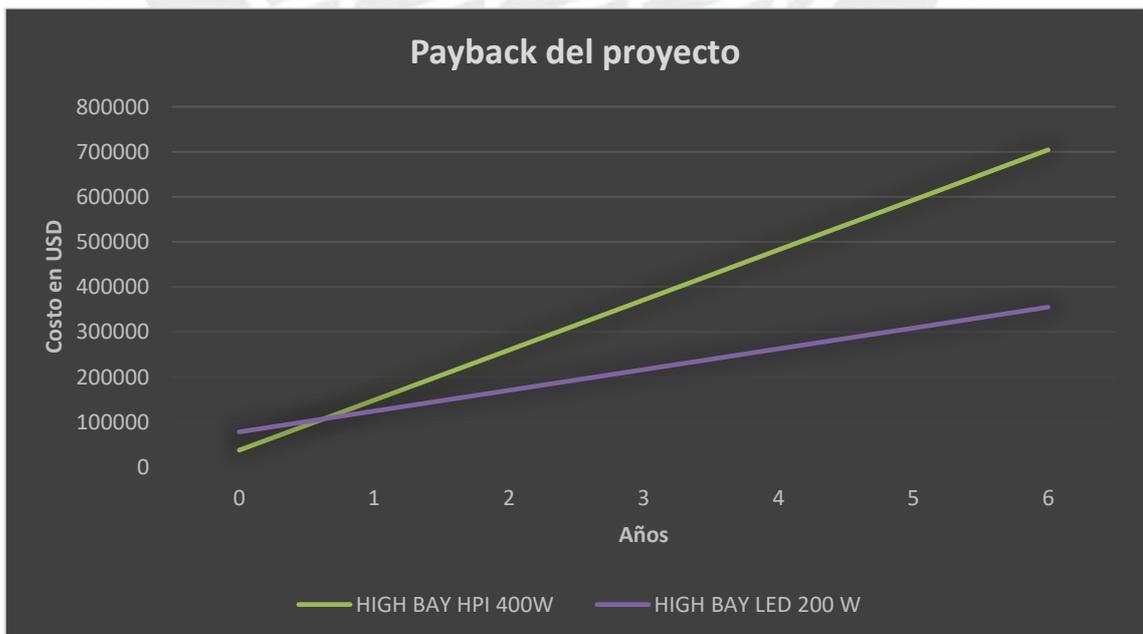


Figura 45: Payback de la proyección en mina
Fuente: Elaboración propia

La figura 45 muestra las curvas de tendencia de ambas tecnologías, donde se observa que las luminarias convencionales al finalizar los 6 años de vida, tendrá un costo de \$ 704,356.00 mientras que, si se opta por las luminarias LED, el costo solo será de \$ 355,191.00.



CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones experimentales de este trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

- Se obtiene un ahorro anual de \$ 5,920.88, para 31 luminarias del área de filtrado.
- La inversión de las luminarias LED es mucho mayor que las luminarias convencionales. Sin embargo, el retorno de la inversión se realiza en menos de un año.
- Las luminarias convencionales al finalizar los 6 años tendrán un costo de \$ 64,221.00, mientras que, si se opta por las luminarias LED, el costo será de \$ 32,385.00, si se compara ambas luminarias.
- La inversión (precio) de las luminarias convencionales, puede variar, ya que, en el kit, hay varios componentes que el tiempo de vida depende de varios factores como temperatura, presión, humedad, considerándose todos estos factores para el análisis.
- Se obtuvo un valor actual neto de \$11,202.08 y una tasa interna de retorno de 24% por lo que la propuesta es viable en el tiempo.
- Menor impacto al medio ambiente por la menor emisión de gas de CO₂ si comparamos con el actual.

- Realizando una proyección para mina y planta concentradora, se obtendría un ahorro anual de \$ 46,165.20 para mina y \$ 14,935.80 para planta, con lo cual se nota un ahorro significativo para la unidad minera.

- Sumándose el ahorro de ambas proyecciones, nos resulta un ahorro total de más de 50 mil dólares al año.

- El retorno de la inversión por la utilización de las luminarias LED se realiza en menos de un año.

- La inversión de las luminarias convencionales puede variar por el kit que presenta varios componentes, en especial las lámparas, donde el tiempo de vida depende de varios factores tales como temperatura, presión, humedad.

- Se obtiene un valor actual neto de \$ 122,861.48 para mina y \$39,749.30 para planta, a una tasa interna de retorno de 24% por lo que es altamente rentable.

- La cantidad de CO₂ ahorrados también es un indicador a resaltar, puesto que son más de 250 toneladas para mina y 80 toneladas para planta, por lo que esto contribuye en el cuidado del medioambiente.

RECOMENDACIONES

- Para el estudio de calidad de energía la medición del analizador de redes se realizó en la salida del transformador 440/220V que alimenta las cargas de iluminación y tomacorrientes del área de Filtrado, en la cual se obtuvo una corriente promedio de 40A que para el propósito de medición es adecuado, si se requiere tener un panorama general del sistema es necesario hacer mediciones en un punto principal donde se tenga mayor consumo de corriente.
- Se recomienda instalar dispositivos de bajo consumo de potencia reactiva, y dispositivos con un rango de alimentación amplio ($>10\%$), debido a que en zonas mineras se tiene una variación de tensión porcentual considerable, como se pudo observar en los gráficos de tensión.
- En caso se tenga planeado implementar nuevo equipamiento, tomar como recomendación la instalación de equipos de electrónica de potencia que tengan un bajo nivel de THD (Distorsión Armónica Total), debido a que puede incrementar el nivel de armónicos en la red.
- Se recomienda hacer una reubicación de todos los reflectores de halogenuro que se encuentran colocados en la zona de filtros, ya que estos se desaprovechan en diferentes puntos y no se cumple con la normativa exigida.

- Antes de proceder a evaluar cualquier compra de un proyecto que contenga productos eléctricos es importante hacer un estudio de calidad de energía.
- Incluir la normativa y los indicadores económicos son un soporte para obtener un resultado más certero al momento de tomar una decisión frente a la sustitución de cualquier bien o servicio.



BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, J. G. (2015). *Cuántos tipos de potencias eléctricas existen*. LIMA.
- Armando, O. S. (2017). *Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en los Anillos E y F de la Red Eléctrica Subterránea de Distribución en 23 kV de Ciudad Universitaria UNAM*. UNIVERSITARIA.
- BENJUMEA, M. (2009) *Propuesta para la implementación del sistema “LED” para la iluminación pública en antioquia*
- Carhuajulca, G. R. (2005). *ILUMINACIÓN EFICIENTE MEDIANTE SOFTWARE DIALUX EN BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA*. PIURA.
- CASTRO, M. (2015) *Diseño de iluminación con luminarias tipo led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas*
- CAYLLAHUA PILARES, E. L. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS LEO HYPALUME 20000 EN EL. AREQUIPA*.
- DUGAN. (1996). *MONOGRAFIAS*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos104/perturbaciones-calidad-potencia/perturbaciones-calidad-potencia.shtml>
- GARCIA, L. A. (2016). *GESTION LOGÍSTICA INTEGRAL LAS MEJORES PRÁCTICAS EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO*. BOGOTÁ.
- GUAMAN, M. P. (2015). *DISEÑO DE ILUMINACIÓN CON LUMINARIAS TIPO LED BASADO EN EL CONCEPTO EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT VISUAL, IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA PARA PRUEBAS*. GUAYAQUIL.
- GUZMAN, H. M. (2009). *FISICA 2*. LIMA.
- HOLGUIN, M. (2010). *ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL NUEVO CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. GUAYAQUIL.
- LUIS, C. C. (2015). *“IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN DE AULAS, TALLERES Y LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA – ESPOCH BAJO NORMAS VIGENTES”*. RIOBAMBA.

- MIDEBIEN. (2019). *SIMPLEMENTE MIDE BIEN*. Obtenido de <https://midebien.com/5-razones-para-realizar-un-analisis-de-calidad-de-energia/>
- MINERO, R. (2019). Atlas Copco Perú apuesta por la tecnología de iluminación LED para reducir el impacto ambiental en la minería y construcción. *MINERO, RUMBO*.
- OSINERGMIN. (s.f.). *OSINERGMIN*. Obtenido de <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/calidad/NTCSE>
- PROMELSA. (2010). *PROMELSA*. Obtenido de <http://www.promelsa.com.pe/pdf/cat-transformadores-promelsa.pdf>
- Rios Gálvez, H. P. (2019). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión de energía bajo la norma ISO 50001, para la reducción de costos en taller de mantenimiento mecánico de una empresa minera*. LIMA.
- SOLÍS, A. J. (2017). *CADENA DE SUMINISTRO Y LOGÍSTICA*. LIMA: PUCP.
- SONEPAR. (2018). *INFORME DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA*. LIMA.
- TAPIA, C. J. (2014). *LA GESTIÓN LOGÍSTICA Y SU INFLUENCIA EN LA RENTABILIDAD DE LAS EMPRESAS ESPECIALISTAS EN IMPLEMENTACIÓN DE CAMPAMENTOS PARA EL SECTOR MINERO EN LIMA METROPOLITANA*. LIMA.
- TICONA, C. (2015) *Análisis de Iluminación e Implementación de un Sistema de Lámpara para el Alumbrado Público Basado en Tecnología LED con Control de Intensidad*
- TINOCO, M. P. (2013). *“PROPUESTA DE UN LABORATORIO PARA PRUEBAS FOTOMÉTRICAS A LUMINARIOS LED”*. Universitaria.
- TONG.J. (2011). *Finanzas Empresariales: la decisión de inversión*. LIMA.