



Análisis técnico del manejo eficiente de la energía eléctrica en la Compañía de empaques S.A. durante el proceso de modernización de las políticas productivas de la empresa

Jesús Andrés Rodríguez Villa

Trabajo de grado correspondiente a semestre de industria, presentado para optar al título de
Ingeniero Electricista

Asesor

Jesús María López Lezama, Doctor (PhD) en ingeniería eléctrica

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería
Departamento de ingeniería eléctrica
Medellín, Antioquia
2023

Cita	Rodríguez Villa [1]
Referencia	[1] J. A. Rodríguez Villa, “Análisis técnico del manejo eficiente de la energía eléctrica en la Compañía de empaques S.A. durante el proceso de modernización de las políticas productivas de la empresa”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, 2023.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de documentación de ingeniería – CENDOI.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Hoy inicia la culminación de la etapa más feliz de mi vida, llena de altos y bajos; precisamente en estos siempre me acompañaron mi familia y amigos, a quienes hoy dedico este título y espero honrarlo de la mejor manera posible, ejerciendo de manera ética y siempre enfocado en las necesidades de la sociedad.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios y a todas las personas que hicieron parte de mi proceso formativo, familia, amigos, profesores, compañeros de trabajo, asesores de práctica y a todos aquellos que me han brindado su conocimiento, los que han tenido una palabra de apoyo, a los que han ofrecido su escucha en aquellos momentos que dudaba de mí o simplemente quería rendirme.

Gracias por hacer parte de la mejor etapa de mi vida en mi sitio favorito en el mundo, la Universidad de Antioquia.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	12
A. Objetivo general	12
B. Objetivos específicos	12
III. MARCO TEÓRICO	13
IV. METODOLOGÍA	25
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	31
VI. CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	48

LISTA DE TABLAS

TABLA I SECCIÓN MÍNIMA DE CONDUCTOR AWG SEGÚN NIVEL DE TENSIÓN	16
TABLA II SELECCIÓN CONDUCTOR DE TIERRA SEGÚN NIVEL DE CORRIENTE	17
TABLA III PORCENTAJE DE PÉRDIDAS TOLERABLES SEGÚN EL OPERADOR DE RED	23
TABLA IV PARÁMETROS DE ILUMINACIÓN EN BODEGAS	24
TABLA V RESULTADOS OFRECIDOS POR DIALUX EN REDISEÑO BODEGA DE MATERIA PRIMA	43
TABLA VI RESULTADO DE PÉRDIDAS EN SUB13-SP2.....	44
TABLA VII RESULTADO DE PÉRDIDAS EN SUB17-SP2	45

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Sylvania High bay - GC350.....	26
Fig. 2. Menú principal analizador de redes DMG 800.....	27
Fig. 3. Factor de potencia analizador de redes DMG 800.....	27
Fig. 4. Corriente analizador de redes DMG 800.	28
Fig. 5. Tensión analizador de redes DMG 800.	28
Fig. 6. Esquema de metodología empleada.....	30
Fig. 7. Plano de iluminación - Cartón plast.....	32
Fig. 8. Plano de servicios generales - Cartón plast.....	32
Fig. 9. Diagramas unifilares - Cartón plast.	33
Fig. 10. Diagramas unifilares - Cartón plast.	33
Fig. 11. Plano de iluminación - Planta de mallas.....	34
Fig. 12. Plano de servicios generales - Planta de mallas.....	35
Fig. 13. Diagramas unifilares - Planta de mallas.....	36
Fig. 14. Diagramas unifilares - Planta de mallas.....	36
Fig. 15. Diagramas unifilares - Planta de mallas.....	36
Fig. 16. Diagramas unifilares - Planta de mallas.....	37
Fig. 17. Planos de iluminación y servicios generales - Materia prima piso 1.....	38
Fig. 18. Planos de iluminación y servicios generales - Materia prima piso 2, tintes y muelles.....	39
Fig. 19. Diagramas unifilares bodega de almacenamiento de materia prima.	39
Fig. 20. Diagramas unifilares bodega de almacenamiento de materia prima.	40
Fig. 21. Diagramas unifilares bodega de almacenamiento de materia prima.	41
Fig. 22. Rediseño de iluminación bodega de almacenamiento de e materia prima en DIALux. ...	42
Fig. 23. Rediseño de iluminación bodega de almacenamiento de e materia prima en DIALux. ...	43
Fig. 24. Rediseño de iluminación bodega de almacenamiento de e materia prima en DIALux. ...	43

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AWG	American Wire Gauge: Calibre de alambre estadounidense
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CREG	Comisión de regulación de energía y gas
EPM	Empresas públicas de Medellín
EPM GM-01	Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico
EPM GM-02	Guía Metodológica cálculo de pérdidas de energía
Kcmils	Mil Circular Mils
Lx	Lux: Unidad de medida de iluminancia
NTC 2050	Norma técnica colombiana
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
RETILAP	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
SUB13-SP2	Subestación 13
SUB17-SP2	Subestación 17
VAR	Voltio-amperios reactivos: Unidad de medición potencia reactiva
W	Vatios: Unidad de medida para potencia activa

RESUMEN

El actual panorama de la energía eléctrica en Colombia es prometedor en términos de suficiencia e instalaciones basadas en energías renovables; sin embargo, el primer (y más práctico) paso hacia un futuro más sostenible a nivel energético empieza desde cada persona; natural o jurídica, mediante el proceso de eficiencia energética, el cual brinda soluciones básicas a situaciones diarias en usuarios regulados y no regulados.

Este es el caso de la Compañía de Empaques S.A, un usuario no regulado de energía de carácter notable y con un amplio recorrido de innovación en el país y recientemente en México en cada una de sus 4 líneas de negocio: soluciones agrícolas, biosoluciones, producción y transformación de fique y materias primas para construcciones civiles, la cual ha propuesto una serie indicadores energéticos de cara a los retos que presenta una idea de desarrollo tan amplia y en medio de reformas internas las cuales buscan mejorar la productividad y la expansión industrial posteriores a uno de los mejores años a nivel de exportaciones internacionales.

El proyecto evaluará un espectro relevante de la eficiencia energética, el uso actual de la electricidad dentro de las plantas de mallas, cartón plast y la bodega de almacenamiento de materia prima a partir del cálculo de pérdidas dentro de estas, basadas en niveles de tensión, corriente, potencia y el consumo en los equipos o bien conocida demanda.

De la misma forma, se enfatizará en el diseño de las redes eléctricas actualizadas a nivel fisionómico (diagramas unifilares), siempre acorde a la normativa técnica colombiana planteada por el RETIE, el RETILAP y la norma NTC 2050, las cuales deberán estar debidamente coordinadas a nivel de protecciones ante fallos dentro de la red eléctrica, con el fin de facilitar futuros análisis energéticos dentro de la compañía.

***Palabras clave* — Cálculo de conductor económico, diagrama unifilar, eficiencia energética, pérdidas energéticas, regulación de tensión.**

ABSTRACT

The present of the electrical engineering at Colombia is promising for the renewable energy projects and their sufficiency, however, the first (and the most remarkable) step for a more sustainable energetic future starts from all the people, natural or juridic person, through the process of energy's efficiency that gives practical ways for the regulated and non-regulated users of the correct use of the energy in their daily tasks.

This is the case of Compañía de Empaques S.A, a prestigious non-regulated energy user with a long innovation course in the country and Mexico in every single of the 4 business lines, agricultural solutions, BioSolutions, the production and developing of fique and the making of materials for construction. The Enterprise has proposed some energetic goals to assume the challenges from a big develop and in order of internal reforms that have the objective of get a better production after one of the best years exporting to other countries.

The Project will test a relevant matter of the energy's efficiency, the actual use of the electricity inside of the tights and cartonplast plants and the storage edifice by the power losses calculus in every single of the areas.

The analysis will go in the way of design the actual electric networks (line diagrams) in accordance with the Colombian energy rules, RETIE, RETILAP and NTC 2050 in order of improve right practices inside the company and with the intention of help in future works and maintenances inside the company.

***Keywords* — Economic driver calculation, energy's efficiency, line diagram, power losses, voltage regulation.**

I. INTRODUCCIÓN

El primer y más básico indicador de crecimiento dentro de un país se refleja en el consumo de energía eléctrica y su cuantía respecto a otros con igual demografía o misma cantidad de recursos; parte de este indicador se ve reflejado en el sector industrial y sus alcances en términos de productividad y sostenibilidad.

Nuestro país no es indiferente a esta realidad, de hecho, tiene la sexta mejor matriz energética del mundo con una capacidad de instalación de 19000 MW [1], solo que, al no ser un país industrial si no por el contrario mayoritariamente residencial presenta ciertos retos, entre ellos el lograr una adecuado nivel de eficiencia energética, en especial todas aquellas grandes empresas como la cual es objeto de estudio del presente trabajo, Compañía de Empaques S.A, una de las mil más grandes dentro de Colombia [2].

La actual situación de expansión en varias de las plantas de producción dentro de la compañía denota una urgencia en cuantificar y calificar el uso global y eficiente de la energía en múltiples aspectos posibles. Desde el área productiva, la buena práctica en el uso de recursos energéticos en cada una de las instalaciones constituye un apartado relevante; se hace especial mención al área eléctrica dentro de cada una de las plantas, denotando la relevancia de estas, ya que esta sección ocupa el 99% de la matriz energética de la compañía frente al 1% del área administrativa [2]; motivo por el cual se realizará la actualización de los cálculos y esquemas eléctricos que contribuyan a la estadística interna y den un horizonte sobre el cumplimiento de indicadores, específicamente en las áreas de cartón plast, mallas y la bodega de almacenamiento de materia prima por medio de las lecturas energéticas en cada una de las subestaciones afines a estas áreas.

Por consiguiente, se enuncian alternativas técnicas basadas en el diseño de instalaciones eléctricas eficientes en aras de evitar fluctuaciones en la red y preparar al equipo de trabajo de esta (departamento eléctrico) ante imprevistos o fallas mediante el proceso de caracterización de diagramas unifilares, cálculo de pérdidas y rediseño eléctrico, brindando especial detalle de la

normativa que rige sobre nuestro país y analizando los efectos o impactos de cada uno de los ítems dentro de los 34 millones de KW/h anuales de consumo dentro de la empresa [2]. Para esto se llevó a cabo durante estos 6 meses de práctica profesional la elaboración de planos eléctricos con la colaboración del equipo de ingeniería mecánica de la compañía, la reestructuración y propuesta de un sistema de iluminación más eficiente dentro de la bodega de materia prima, el cual se encuentra “obsoleto” frente a las otras dos áreas de estudio y de igual manera se realizó un exhaustivo seguimiento a los parámetros eléctricos en cada subestación encargada del suministro de electricidad dentro de las plantas y calcular de manera fidedigna a la data real las pérdidas energéticas, resultados consolidados por medio de hojas de cálculo y simulaciones en pro del correcto uso por parte del equipo técnico.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Reestructurar el módulo energético presente en las plantas de producción y manufactura de cartón plast, mallas y bodega de almacenamiento de materia prima acorde a un nivel óptimo de eficiencia energética basado en el cumplimiento de cada una de las normativas eléctricas colombianas.

B. Objetivos específicos

1. Cuantificar el nivel de pérdidas en la red eléctrica de distribución instalada en las plantas de mallas, cartón plas y bodega de almacenamiento de materia prima dentro de la compañía, además de su directa relación con las políticas institucionales referentes al gasto energético.
2. Rediseñar los diagramas unifilares de las instalaciones eléctricas de carácter industrial acorde a su actual distribución en aras de actualizaciones y mejoras en el sistema productivo.
3. Implementar sistemas de protecciones eléctricas adecuados para cada uno de los circuitos y sus procesos internos, basados en el seguimiento de cada una de las redes eléctricas aéreas y/o subterráneas presentes en cada una de las plantas que brinden correcta respuesta ante cualquier posible falla del sistema.

III. MARCO TEÓRICO

El presente estudio se ha constituido desde dos grandes focos y se ven reflejados en la siguiente sección, donde se plantearán conceptos energéticos claves en aras de la comprensión y apropiación de la temática. De igual forma se designará un espacio para toda la normativa empleada durante el desarrollo de este, la cual legitima la validez del proyecto.

Inicialmente se procede a la definición de aquellos términos más conceptuales obtenidos desde la literatura especializada.

Cálculo económico de conductores

Este requerimiento establecido por el RETIE en su capítulo 10 busca la optimización de los diseños y encontrar las alternativas del menor costo posible, por lo cual debe establecerse relación entre la selección técnica del conductor y los gastos asociados al tiempo. Este cálculo requiere de los siguientes parámetros [3]:

- Capacidad de corriente
- Análisis de pérdidas
- Regulación de tensión
- Corriente de cortocircuito
- Inversión de la instalación
- Costo de las pérdidas de energía durante la vida útil de la instalación

Los parámetros mencionados se relacionan mediante el siguiente conjunto de ecuaciones (plasmado más adelante en *EXCEL*):

$$CT = CI + CJ \quad (1)$$

Donde:

- CT: Costos totales
- CI: Costo de instalación
- CJ: Costo operativo proyectado

A su vez, se define el costo de instalación CI:

$$CI = Ci * L \quad (2)$$

Con:

- Ci: Costos de instalación (unitario)
- L: Longitud

Para el costo operativo proyectado CJ, se tiene que:

$$CJ = I^2 * R * L * F \quad (3)$$

Y cada parámetro de la ecuación 3 tiene expresiones relacionadas de la siguiente manera:

$$F = \frac{N_p * N_c * ((T * P) + D) * Q}{1 + i} \quad (4)$$

$$Q = \sum_{n=1}^N r^{n-1} \quad (5)$$

$$r = \frac{(1 + a)^2 * (1 + b)}{1 + i} \quad (6)$$

Los elementos correspondientes a las ecuaciones planteadas son:

- I: Carga máxima conductor en el año 1
- R: Resistencia del conductor
- L: Longitud del conductor
- N_p : Número de conductores de fase en el circuito
- N_c : Número de circuitos
- T: Tiempo máximo de funcionamiento (8760 horas)
- P: Costo de un vatio-hora acorde al nivel de tensión
- D: Costo anual de cubrimiento de pérdidas por suministro adicional
- i: Tasa de descuento
- N: Años de duración de operación
- Q: Coeficiente de aumento de carga (a) respecto al aumento de costo de energía (b)
- A: Aumento anual carga
- B: Aumento costo de la energía (no tiene en cuenta la inflación)
- R: Factor de aumento carga/costo energía

Criterios en selección de conductores

La selección del conductor adecuado en un circuito (y su respectiva representación en diagramas unifilares) viene dado por la funcionalidad de este, es decir su funcionalidad dentro del mismo, fase, tierra o neutro, la temperatura de operación, la ubicación de este sea por dentro de tubería o expuesto y un determinado factor de corrección para asegurar un porcentaje superior al nivel de corriente transportado.

Esta serie de aspectos se reflejan dentro del reglamento NTC 2050, en el que se consideran los siguientes parámetros según el tipo de conductor.

Conductor de fase

En diseños y planos eléctricos se simboliza a partir de los colores amarillo, azul y rojo. Este tipo de conductor se selecciona acorde a la tabla 310.5 de la norma NTC 2050, en la cual se define el calibre del conductor acorde a la capacidad nominal de tensión en este [4].

TABLA I
SECCIÓN MÍNIMA DE CONDUCTOR AWG SEGÚN NIVEL DE TENSIÓN

Tensión nominal del conductor en voltios	Sección mínima del conductor en número AWG
De 0 a 2000	14 de cobre 12 de aluminio o aluminio recubierto de cobre
De 2001 a 8000	8
De 8001 a 15000	2
De 15001 a 28000	1
De 28001 a 35000	1/0

Conductor de neutro

Generalmente se identifica en un circuito por ser de color blanco. El cálculo o dimensionamiento de este tipo de conductor se realiza acorde a la sección 200-22 de la norma NTC 2050 [4] bajo los siguientes parámetros:

- En acometidas monofásicas bifilares se maneja igual nivel de corriente respecto a la referencia en fases.
- Para acometidas trifásicas que componen cargas lineales y formadas por 4 hilos se considera mínimo el 70% de nivel de corriente de las fases.
- En el manejo de acometidas trifilares en un sistema monofásico y con fase de partida a tres hilos (120/240V) se debe considerar un mínimo de 140% respecto al amperaje de fase.
- En sistemas trifásicos de baja tensión que corresponden a cargas no lineales (componente electrónico causante del fenómeno de armónicos), el conductor de

neutro se debe dimensionar con un nivel mínimo al 173% del amperaje respectivo al conductor de fase.

Conductor de tierra

A este tipo de conductor se le asigna el color verde en los circuitos eléctricos. El criterio de selección según el nivel de corriente se especifica en la tabla 250-95 de la norma NTC 2050, la cual define un conductor específico según la intensidad de corriente del sistema de puesta a tierra [4].

TABLA II
SELECCIÓN CONDUCTOR DE TIERRA SEGÚN NIVEL DE CORRIENTE

Intensidad o posición máxima del dispositivo automático de protección contra sobreintensidad en el circuito antes de los equipos, conductos, etc. (Amperios)	Cable de cobre #	Cable de aluminio o de aluminio revestido de cobre #
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 Kcmils
1600	4/0	350 Kcmils
2000	250 Kcmils	400 Kcmils
2500	350 Kcmils	600 Kcmils
3000	400 Kcmils	600 Kcmils
4000	500 Kcmils	800 Kcmils
5000	700 Kcmils	1200 Kcmils
6000	800 Kcmils	1200 Kcmils

Criterios del diseño eléctrico

Dentro de los parámetros establecidos para el diseño de una instalación eléctrica se manejan tres de innegociable cumplimiento en el ámbito de la ingeniería eléctrica (se enuncian de forma consecutiva a continuación) ya que estas determinan los niveles óptimos de iluminación dentro de cualquier recinto y/o actividad.

Deslumbramiento

Efecto producido por el exceso de iluminación dentro del campo visual soportado por la vista humana, causante de molestias, incomodidad o en pérdida de la capacidad visual. Este es dependiente de factores como la posición de la fuente de luz o el número de fuentes disponibles [5].

Iluminancia

Cuantificación de la densidad de flujo luminoso incidente sobre un área o superficie determinada. La unidad de iluminancia es el lux (lx) y cada tipo de actividad o recinto tiene un nivel específico [5].

Uniformidad

Aspecto referido a la iluminación competente al área donde se desarrolla determinada tarea y su necesidad de ser iluminada de la manera homogénea o estándar posible, facilitando así la correcta realización de estas en ámbitos de efectividad y seguridad [5].

Diagrama unifilar

El esquema o diagrama unifilar es una representación gráfica fundamental en el diseño de una instalación eléctrica o de parte de ella, en especial de su sistema de potencia y protecciones.

Este se diferencia de otros tipos de esquemas eléctricos dado que todos los conductores de un determinado circuito se representan a partir de una única línea, pero mantiene la estructura básica de ir en sentido general a específico, donde la fuente de alimentación principal se ubica con sus respectivas protecciones aguas arriba y las líneas representativas de cada circuito que también contarán con protecciones y cargas se ubican aguas abajo según el barraje de referencia.

La utilidad de plano potencia es fundamental desde la representación de un tablero de distribución que alimenta a uno o varios circuitos específicos hasta un montaje eléctrico del carácter de una subestación de energía, de ahí la relevancia en el aprendizaje de estos [6].

Eficiencia energética

El término eficiencia energética se enfoca en todas aquellas actividades del proceso productivo y el gasto de recursos que este ocasiona, es decir el lograr más resultados empleando el menor uso de materias primas posibles.

A nivel de ingeniería eléctrica, se expone como la optimización del consumo energético para alcanzar unos niveles determinados de servicio y productividad, es decir realizar las tareas (en este contexto, industriales) sin necesidad de manejar los mayores consumos de energía [7].

Pérdidas de energía

El proceso de generación de energía eléctrica no es de carácter ideal debido a que durante la transformación de los distintos recursos energéticos y en toda su respectiva cadena de distribución hasta el producto final (electricidad) se presentan interrupciones o modificaciones en

el servicio las cuales causan impedimentos en la relación “lineal” de potencia de entrada respecto a potencia de salida, según el tipo de causal de los mencionados impedimentos existen dos tipos de pérdidas energéticas, técnicas y no técnicas [8].

Pérdidas no técnicas

Este tipo de pérdidas se deben a factores externos a la red eléctrica y su comportamiento, quizás maniobras o fallas humanas. Desafortunadamente, la mayoría de estas se derivan de conexiones no legalizadas y a partir problemas en el proceso de medición de consumo (fraude de energía) [9].

Pérdidas técnicas

Para el objeto de interés del proyecto en desarrollo, este tipo de pérdidas son las más pertinentes y son inherentes a la operación presente en determinado sistema eléctrico. Se generan por la circulación de corriente en el sistema y dependen de factores como materiales presentes en la construcción de las redes. Ejemplo de estas es el efecto Joule (más común en la compañía), debido al apilamiento entre conductores, lo cual genera calentamiento en estos, aumentando su resistividad y evitando la circulación de una mayor cantidad de energía a través de las acometidas respectivas [9].

Las pérdidas técnicas son las que competen objeto de estudio del presente trabajo y según la normativa *EPM GM-02* (documento base) se proceden a calcular de forma porcentual del siguiente modo:

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{\text{Pérdidas promedio en el conductor}}{\text{Potencia promedio total transportada}} * 100\% \quad (7)$$

Debido a que en el desarrollo del presente trabajo se manejan únicamente sistemas trifásicos en las dos subestaciones de referencia (SUB13-SP2 y SUB17-SP2), las pérdidas promedio y la potencia promedio transportada se definen como:

$$Pérdidas\ promedio = NCF * 3 * \left(\frac{i}{NCF}\right)^2 * R * L * F_{pérdidas} \quad (8)$$

$$Potencia\ promedio\ total\ transportada = \sqrt{3} * V_L * i * FP * F_C \quad (9)$$

El factor de carga (F_c) se define como:

$$F_c = \frac{Potencia\ promedio\ (kVA)}{Potencia\ máxima\ (kVA)} \quad (10)$$

Y el factor de pérdidas se define como:

$$F_{pérdidas} = 0.7F_c^2 + 0.3F_c \quad (11)$$

Por lo tanto, la expresión que expresa el porcentaje de pérdidas en sistemas trifásicos, a partir de las ecuaciones (7), (8), (9), (10) y (11):

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{\sqrt{3} * i * R * l * (0.7F_c + 0.3) * 100}{V_L * FP * NCF} \quad (12)$$

Donde:

- FP: Factor de potencia del sistema
- V_L : Tensión de línea
- NCF: Número de conductores por fase

Plano eléctrico

Diseño encargado de plasmar diferentes elementos de la red eléctrica en determinada área o sector dentro de un ámbito residencial, industrial o rural.

Estos deben ser lo más detallados posibles en términos de concepción de circuitos y ubicación en aras de facilitar su comprensión y utilización en situaciones de emergencia o mantenimientos. En el presente trabajo se enuncian los subsiguientes dos tipos [10].

Plano de iluminación

También conocido como plano de alumbrado, indicador de luminarias utilizadas dentro de la instalación eléctrica desde su ubicación, tipo y fuente de alimentación [10].

Plano de servicios generales

Tipo de planos en el cual se identifican y retratan tomacorrientes, interruptores, tableros de iluminación y distribución, además de todos aquellos elementos que cumplan funciones de alimentación dentro de una instalación residencial [10].

Regulación de tensión

Esta definición proviene de la cuantificación del suministro de corriente a una carga por medio de un conductor, hecho que repercute en que se experimente una caída en la tensión y una disipación de energía en forma de calor. Este hecho repercute en que no haya una transferencia energética entre sistemas de forma directa y 100% eficaz [11].

Según el operador de red se maneja un porcentaje máximo de pérdidas admisibles en el diseño de baja y media tensión, tal cual lo muestra la tabla 1 de la EPM GM-02; en este proyecto en particular se enfatiza en los valores propuestos por EPM [9].

TABLA III
PORCENTAJE DE PÉRDIDAS TOLERABLES SEGÚN EL OPERADOR DE RED

Nivel de tensión	Porcentaje de pérdidas máximas tolerables				
	EPM	ESSA	CENS	CHEC	EDEQ
Nivel I ($V < 1KV$)	3,88	5,22	5,17	3,42	4,93
Nivel II ($1KV \leq V < 30KV$)	1,12	1,36	1,10	1,81	1,54
Nivel III ($30 \leq V < 57.5KV$)	1,21	3,42	2,52	1,36	1,55

A continuación, en el desarrollo de este ítem se desglosan aquellos conceptos provenientes de la normativa colombiana, consultados y citados directamente de aquellos documentos que rigen la actividad eléctrica en el país.

Usuarios regulados

La CREG en el artículo 11 de la Ley 143 de 1994 denomina usuarios regulados a las personas naturales o jurídicas las cuales rigen sus compras de electricidad a las tarifas establecidas por el máximo ente regulador en servicios de energía y gas, reflejadas en facturación por el operador de red competente a la región de servicio [12].

Usuarios no regulados

El artículo 11 de la Ley 143 de 1994 propuesto por la CREG brinda esta caracterización a aquellas personas (naturales o jurídicas) que demandan una potencia activa máxima superior a los 2 MW por instalación legalizada [12].

La zona de estudio es considerada un usuario no regulado y por ende maneja sus contratos de energía directamente con la empresa ISAGEN, sin perder sus obligaciones contractuales con el operador de red EPM.

Seguidamente se enuncian aquellas normas que hicieron posible el presente escrito.

EPM GM-01 - Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico

Este documento es de valiosa información, ya que en él se establecen las pautas para el correcto cálculo económico de conductores en sistemas de distribución de baja y media tensión (objeto de estudio), logrando así la optimización de diseños a partir del mínimo costo en el tiempo a través de una adecuada sección transversal del conductor [3].

EPM GM-02 - Guía Metodológica cálculo de pérdidas de energía

La presente guía técnica brinda un procedimiento estándar para el cálculo de pérdidas de carácter técnicas en sistemas de distribución acorde al cumplimiento de los requerimientos establecidos en el RETIE para diseño y mantenimiento de instalaciones eléctricas de carácter industrial [9].

RETILAP – Sección 440: Especificaciones de iluminación en el alumbrado interior

Inciso que busca garantizar que la iluminación mejore el confort visual y elevar el rendimiento en cualquier tipo de actividad productiva o de seguridad, por lo cual se hace de obligatorio cumplimiento (mínimamente) de los valores promedio de iluminancia, uniformidad y deslumbramiento reflejados en la *tabla 440.1: “Niveles de iluminancia y deslumbramiento”* [5], presentada a continuación en el contexto de la zona de interés, por lo tanto, se evalúa en bodegas:

TABLA IV
PARÁMETROS DE ILUMINACIÓN EN BODEGAS

Tipo de recinto y actividad	Deslumbramiento	Iluminancia mínima	Iluminancia media	Iluminancia máxima	Uniformidad
Almacenes, bodegas	25	50	100	150	$\geq 0,7$

IV. METODOLOGÍA

Con la finalidad de brindar una resolución exitosa a los objetivos planteados en el siguiente trabajo, se plantearon una serie de actividades de obligatorio cumplimiento las cuales funcionan como una ruta de trabajo compuesta por 4 pilares fundamentales. Inicialmente una etapa dedicada al levantamiento de los planos eléctricos de las zonas de análisis; en segunda instancia, se realiza el rediseño de la bodega de materia prima, seguidamente se toman lecturas de parámetros relevantes para la formulación del proyecto y por último se plantea el cálculo de pérdidas y conductor económico.

Fase 1: Levantamiento eléctrico

Se realizaron recorridos en cada una de las zonas planteadas como prioridades y se dibujó a mano alzada cada uno de los planos eléctricos solicitados por la empresa, iluminación, servicios generales y potencia, para posteriormente plasmar los mismos en el software *AutoCAD* y almacenarlos en la base de datos de la empresa para futuras modificaciones y consultas.

Fase 2: Rediseño bodega de almacenamiento de materia prima

Se le brindó solución a la necesidad de una nueva propuesta de iluminación más eficiente en la zona en mención por medio de un nuevo diseño realizado en el software *DIALux* y basado en la normativa RETILAP y en su sección “410.1: Niveles de iluminación o iluminancia y distribución de luminancias”, en la cual se determinan los niveles óptimos de iluminancia, deslumbramiento y uniformidad para distintas zonas de trabajo, logrando así brindar solución a una necesidad manifestada por el equipo de trabajo de la zona.

El diseño actualizado por medio del software se realizó a partir de luminarias especializadas para instalaciones de muy elevada altura o superiores a los 7 metros [5], por medio del modelo *Led High bay GC350* de SYLVANIA de 100 W, la cual ha sido utilizada previamente en la compañía y ha generado resultados óptimos en las labores de reforma.



Fig. 1. Sylvania High bay - GC350

Fase 3: Lectura de parámetros y mediciones en subestaciones

A partir de los analizadores de red *Lovato DMG 800* ubicados en los tableros de distribución de cada una de las subestaciones internas; SUB13-SP2 (cartón plast) y SUB17-SP2 (mallas y bodega de almacenamiento de bodega prima); encargadas de la distribución de energía en cada una de las plantas se obtienen datos precisos acorde a voltaje entre cada una de las líneas, corriente en los conductores y factor de potencia asociado a las distintas cargas, elementos útiles en el posterior cálculo de pérdidas.



Fig. 2. Menú principal analizador de redes DMG 800.



Fig. 3. Factor de potencia analizador de redes DMG 800.



Fig. 4. Corriente analizador de redes DMG 800.



Fig. 5. Tensión analizador de redes DMG 800.

En esta etapa se modificó la forma de tomar mediciones por cuestiones de seguridad ante acometidas de niveles de tensión elevados los cuales eran contraproducentes para los equipos manejados dentro de las instalaciones de la compañía, motivo que obligó a registrar los datos de cada analizador de red como un global y no por circuito tal cual el plan de acción inicial.

Fase 4: Cálculo de pérdidas y conductor económico

Al obtener las medidas necesarias y aplicando cálculos fundamentados en las normas EPM GM-01 y EPM GM-02, se procede a crear tres “programas” por medio del aplicativo *Excel* de Microsoft que permite manejar de manera más práctica la organización de datos, el cómputo de operaciones a partir de estos y su respectiva interpretación.

Los dos primeros de los programas; “*Cálculo de pérdidas – SUB13 SP2*” y “*Cálculo de pérdidas – SUB17 SP2*” son los encargados de calcular el porcentaje exacto de pérdidas en un circuito (en este caso un conjunto) según la subestación de análisis y el tercero “*Cálculo económico de conductores*” es el encargado de realizar el cálculo más procedente para un conductor, el cual se ha dejado como herencia a la empresa para futuras investigaciones, lo cual implica que en el presente trabajo solamente se plantea su base teórica y no se enuncian resultados del mismo.

A continuación, se sintetiza toda la información de manera gráfica mediante el esquema de la figura 6:

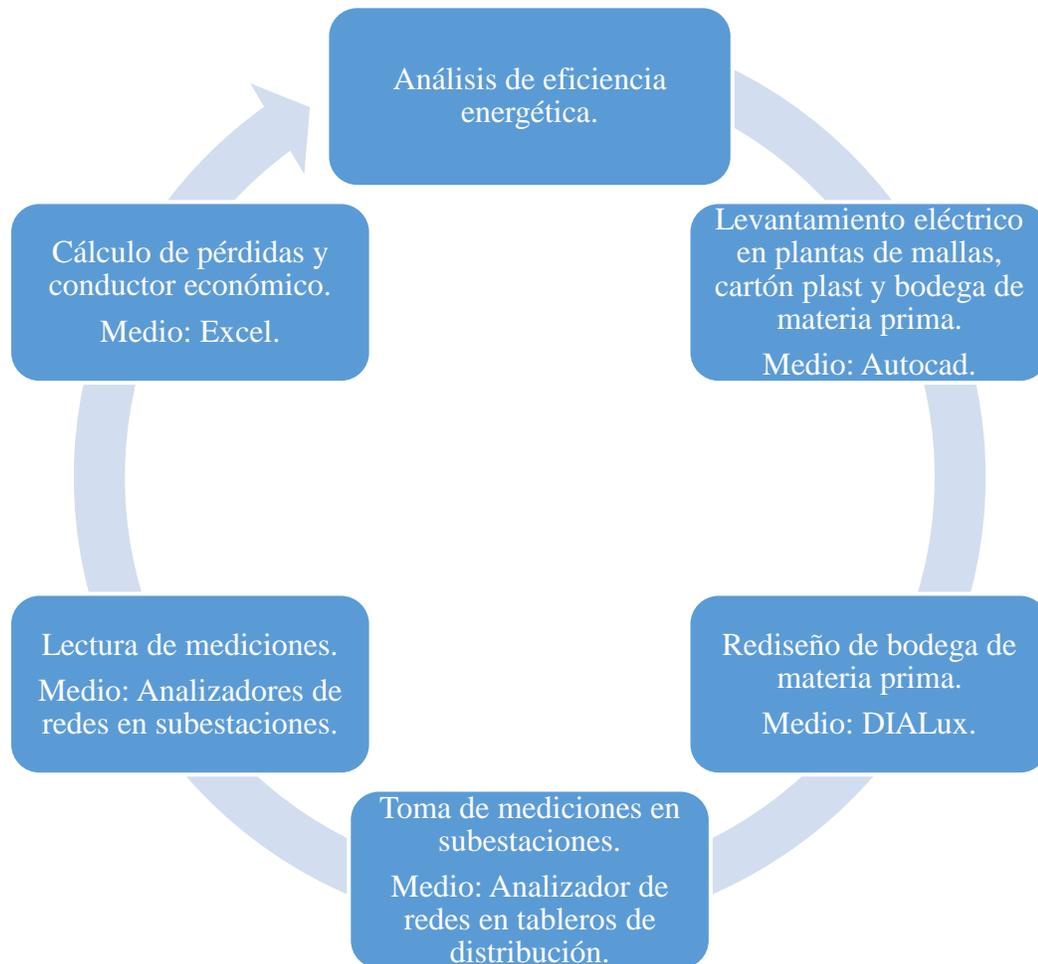


Fig. 6. Esquema de metodología empleada.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A partir de la metodología planteada y por medio de los recursos utilizados durante el desarrollo en la práctica académica, se logra la siguiente serie de resultados acorde a los objetivos planteados desde un inicio de esta, unos de manera gráfica como lo son los planos eléctricos y los diagramas unifilares, los cuales se organizan según la planta de producción; además de otros que se presentan en forma numérica presentados en tablas y con su respectiva interpretación (muy fundamentada en la normativa), correspondientes a niveles de iluminación y porcentaje de pérdidas según la subestación eléctrica que alimenta a las plantas.

Seguidamente se proceden a anexar los elementos correspondientes a esta sección según el orden planteado de cada una de las plantas de producción analizadas.

Planta de cartón plast

Los recorridos y levantamientos eléctricos realizados plasmados a través de *AUTOCAD* brindan la siguiente serie de planos eléctricos y diagramas unifilares.

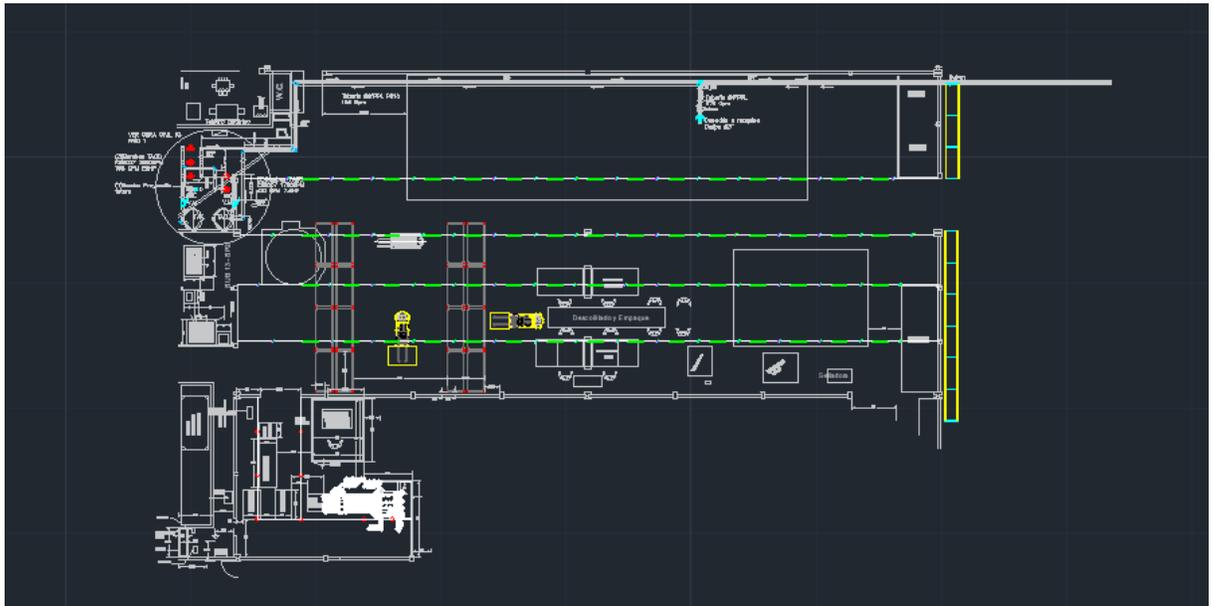


Fig. 7. Plano de iluminación - Cartón plast.

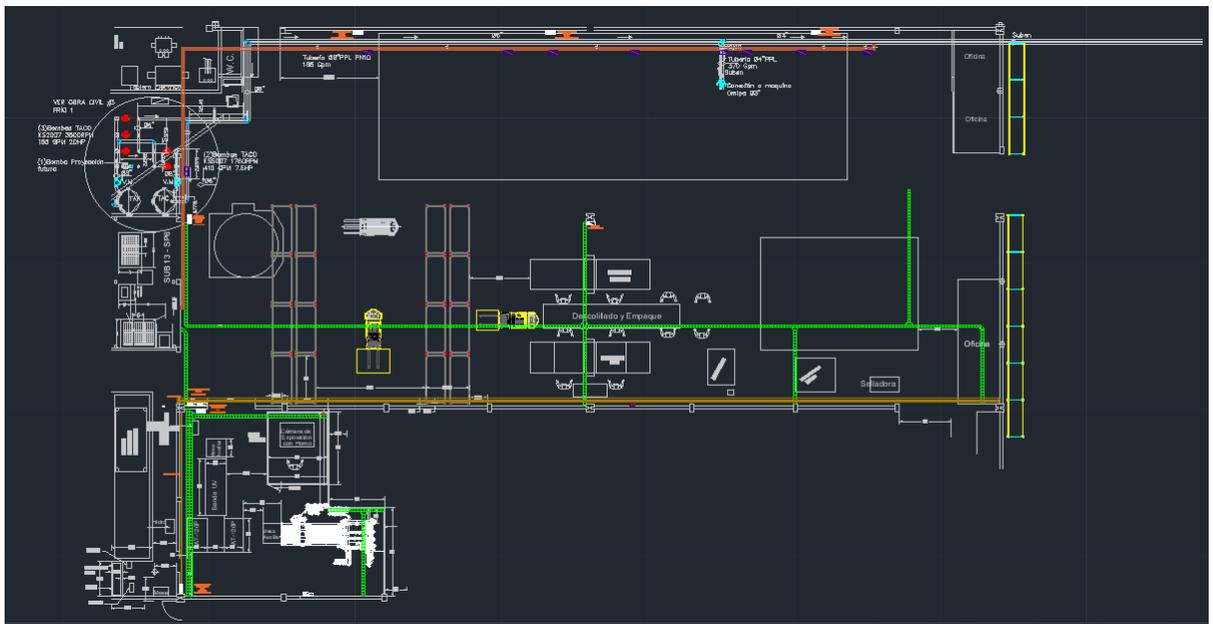


Fig. 8. Plano de servicios generales - Cartón plast.

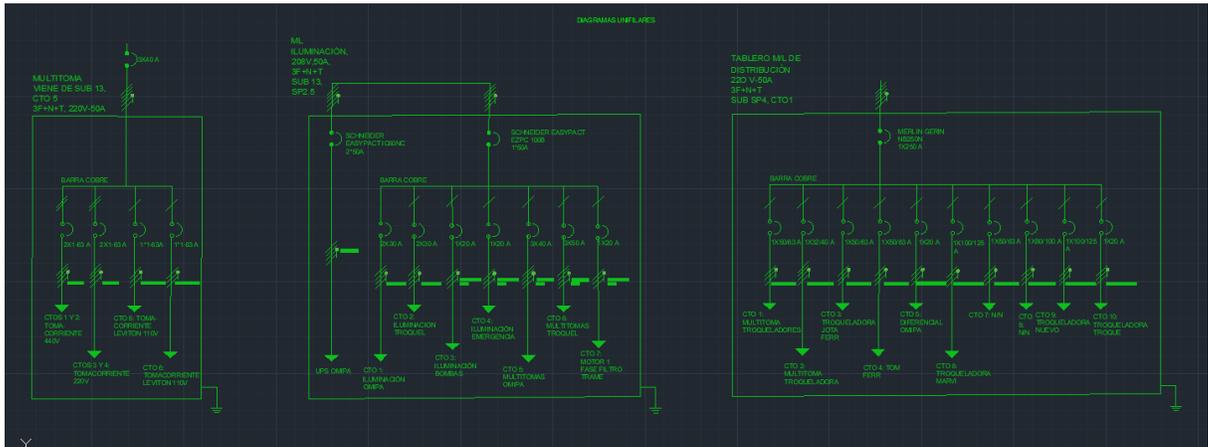


Fig. 9. Diagramas unifilares - Cartón plast.

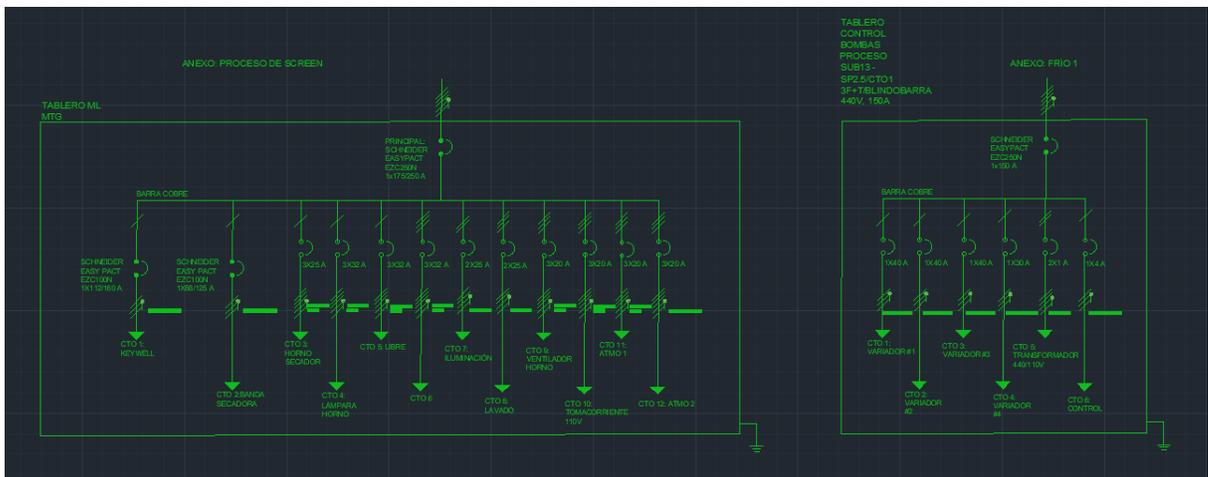


Fig. 10. Diagramas unifilares - Cartón plast.

Planta de mallas

A partir de los recorridos y respectivos levantamientos eléctricos, por medio de la herramienta *AUTOCAD* se obtienen el siguiente conjunto de planos de iluminación, servicios generales y diagramas unifilares.

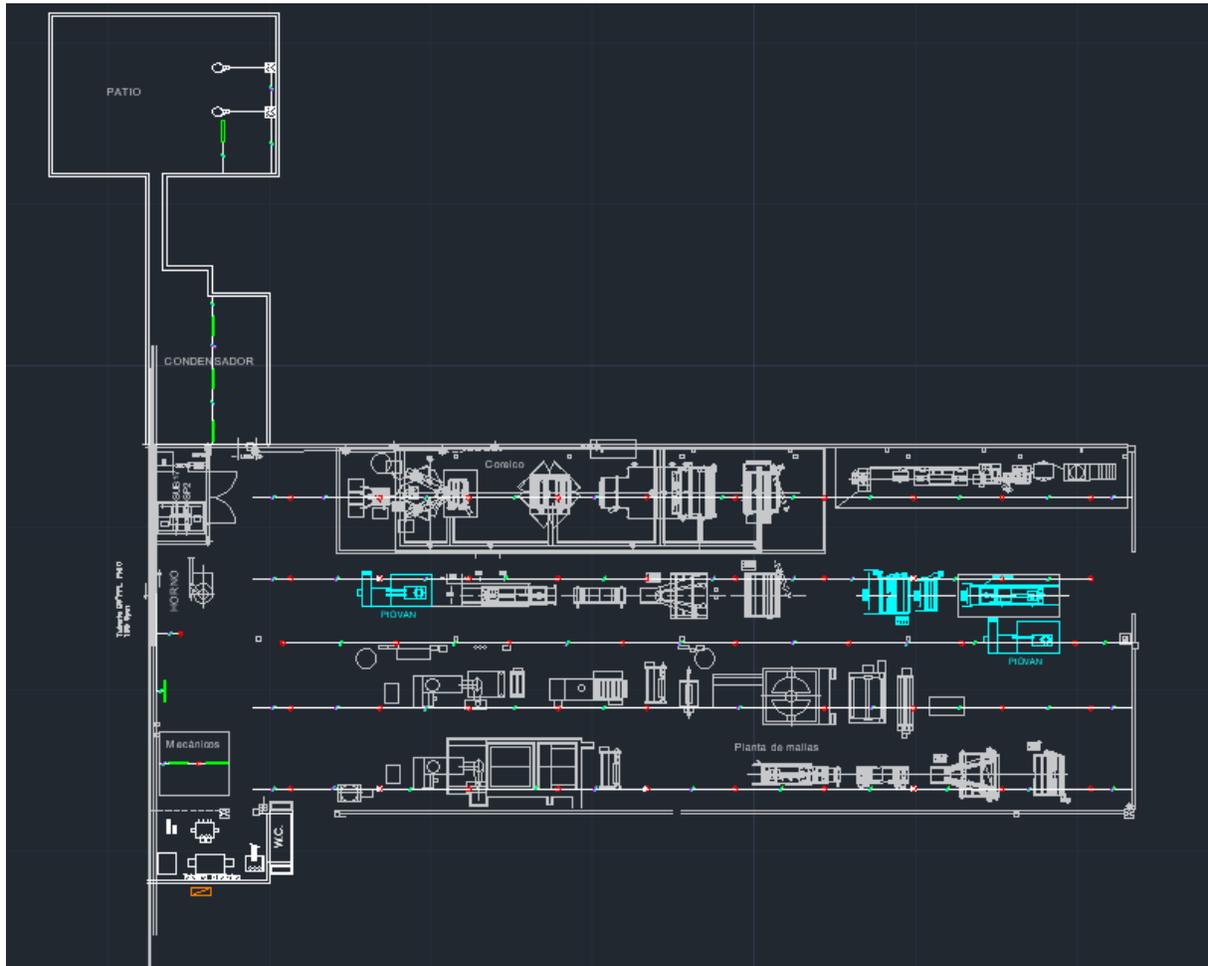


Fig. 11. Plano de iluminación - Planta de mallas.

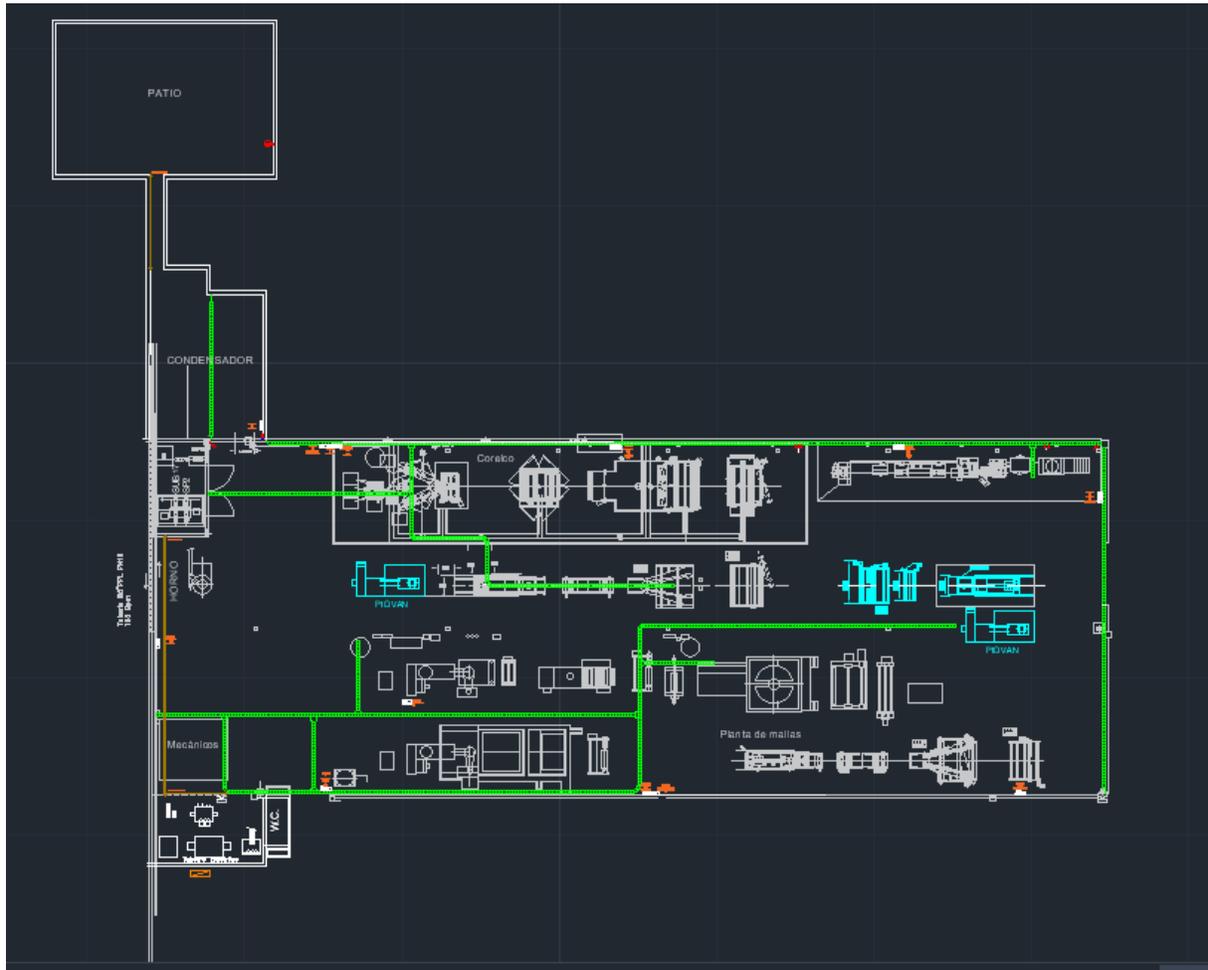


Fig. 12. Plano de servicios generales - Planta de mallas.

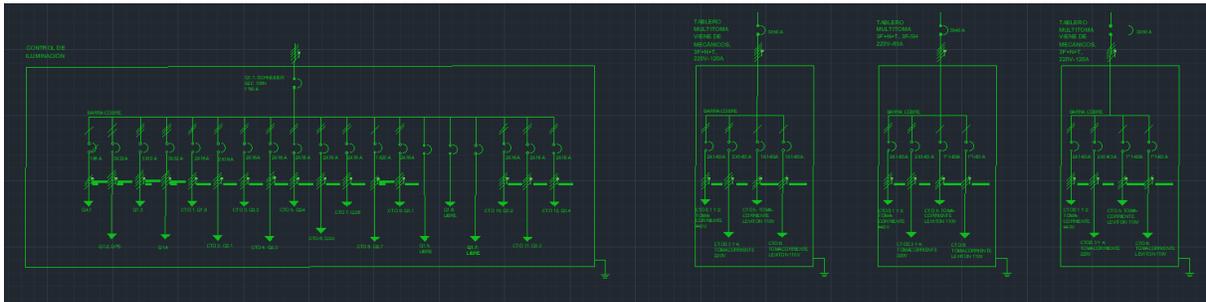


Fig. 13. Diagramas unifilares - Planta de mallas.

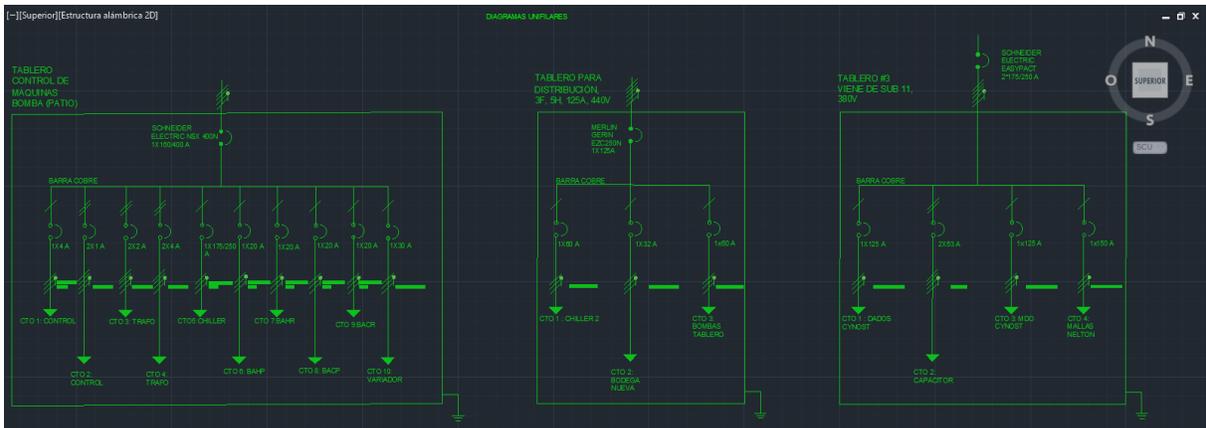


Fig. 14. Diagramas unifilares - Planta de mallas.

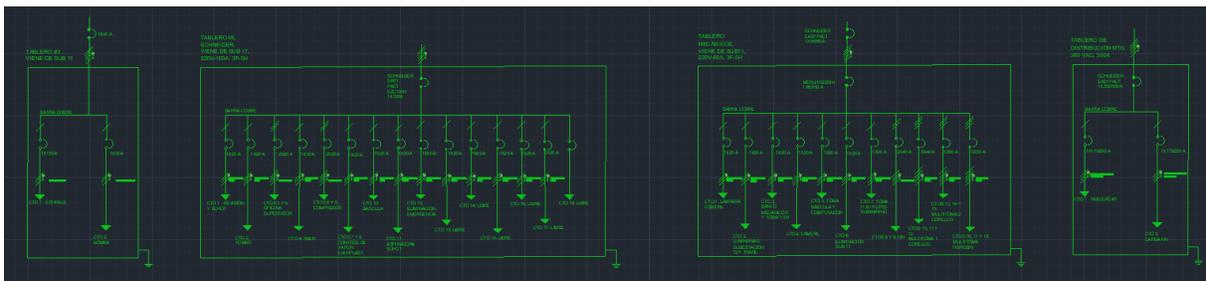


Fig. 15. Diagramas unifilares - Planta de mallas.

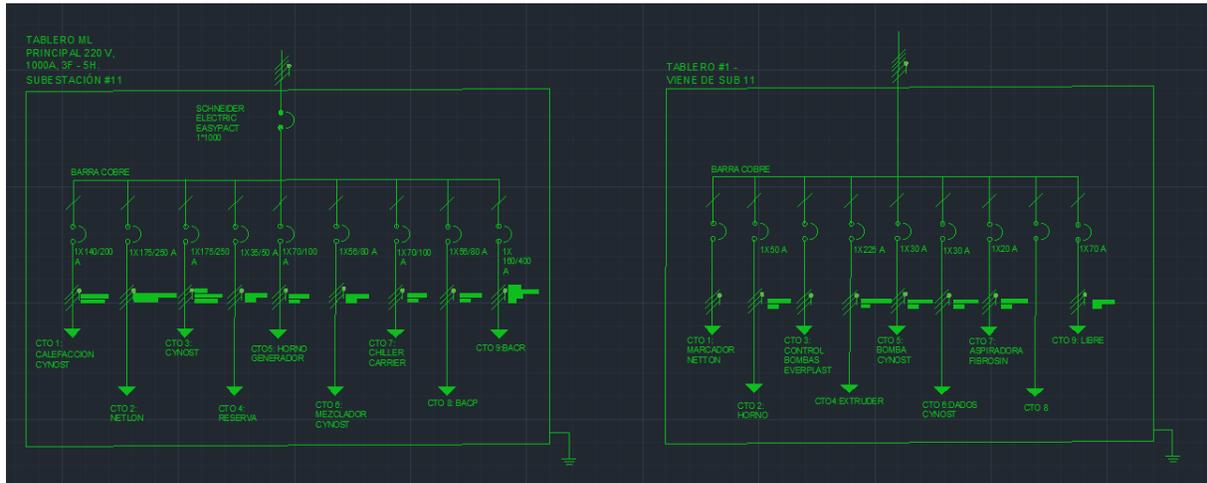


Fig. 16. Diagramas unifilares - Planta de mallas.

Bodega de almacenamiento de materia prima

En el siguiente ítem de estudio se lograron los siguientes resultados a partir de *AUTOCAD* como producto de la identificación de cada uno de los componentes eléctricos presentes en la instalación.

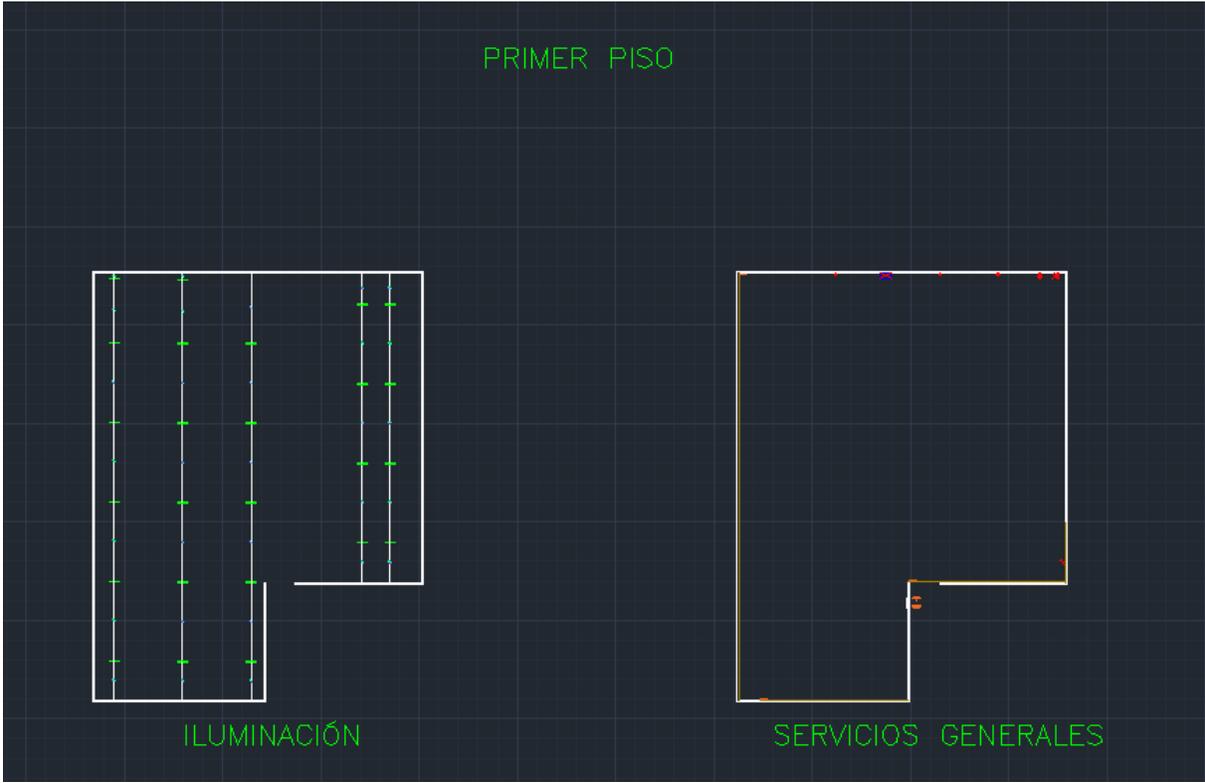


Fig. 17. Planos de iluminación y servicios generales - Materia prima piso 1.



Fig. 18. Planos de iluminación y servicios generales - Materia prima piso 2, tintes y muelles.

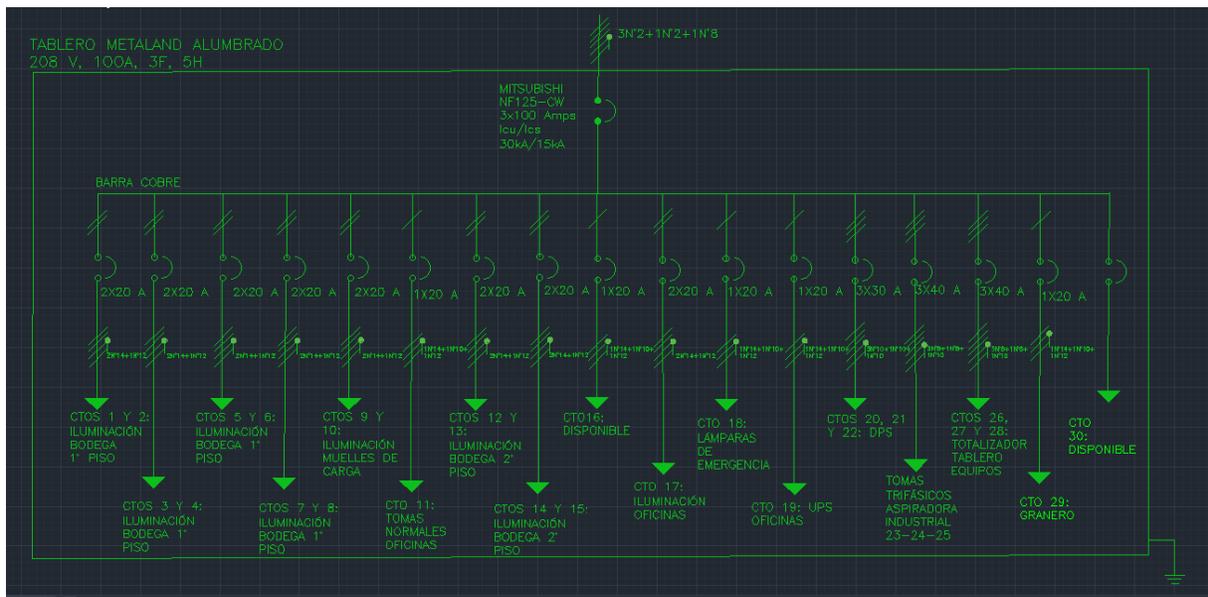


Fig. 19. Diagramas unifilares bodega de almacenamiento de materia prima.

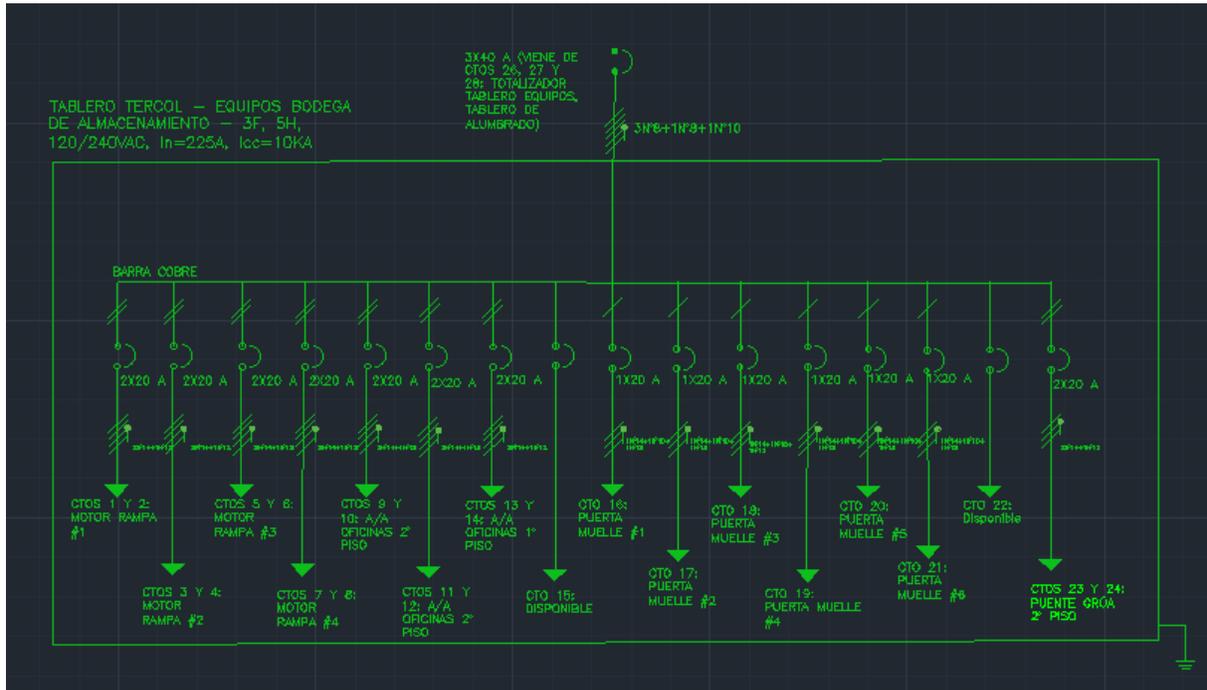


Fig. 20. Diagramas unifilares bodega de almacenamiento de materia prima.

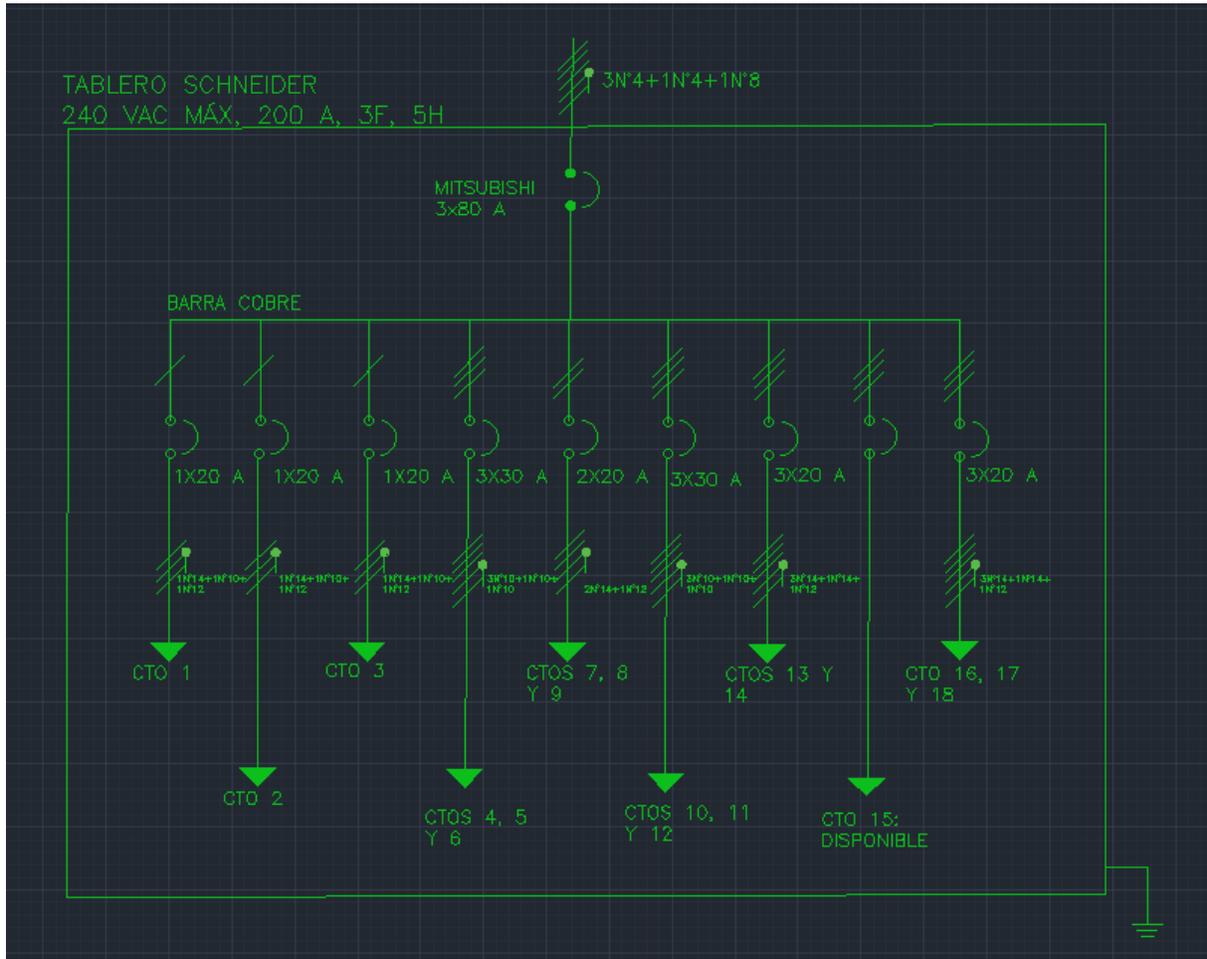


Fig. 21. Diagramas unifilares bodega de almacenamiento de materia prima.

De igual manera, a nivel constructivo por medio de *DIALux* se presentó la siguiente alternativa de iluminación sobre una planta tan relevante en la producción diaria de la compañía, en búsqueda de niveles acordes de iluminancia, deslumbramiento y uniformidad tal cual se plantea en la normativa RETILAP.

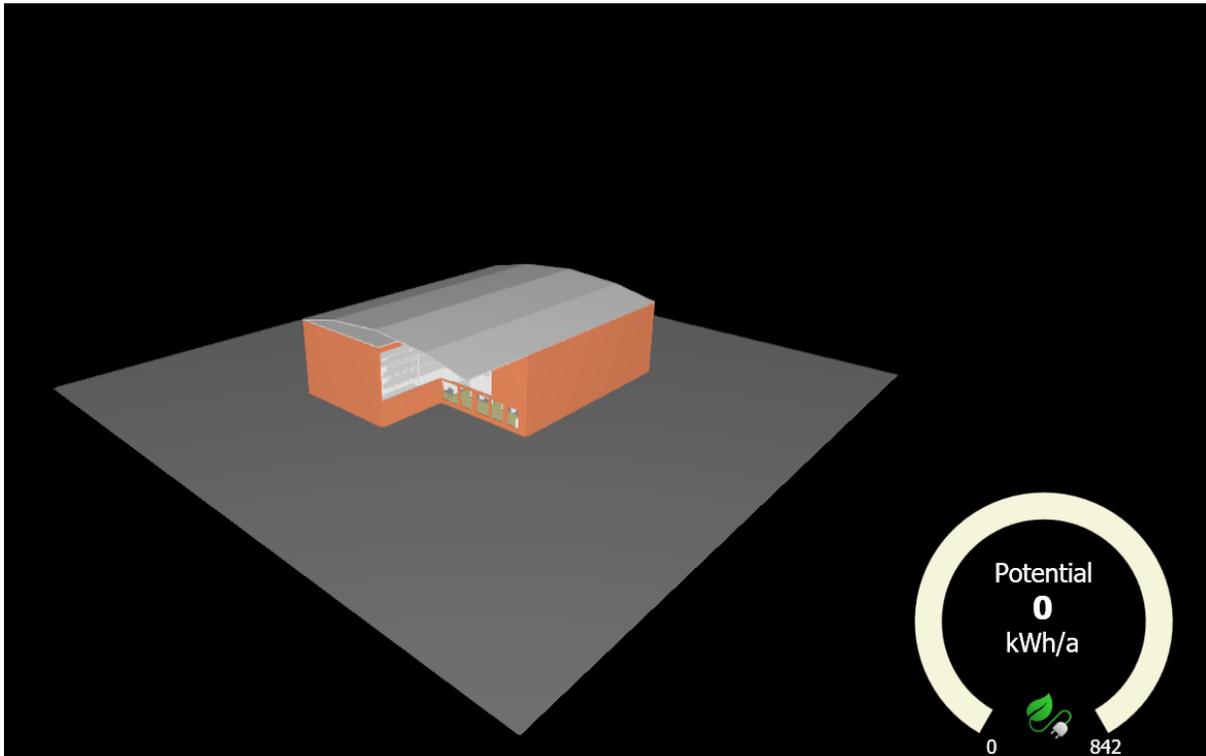


Fig. 22. Rediseño de iluminación bodega de almacenamiento de e materia prima en DIALux.

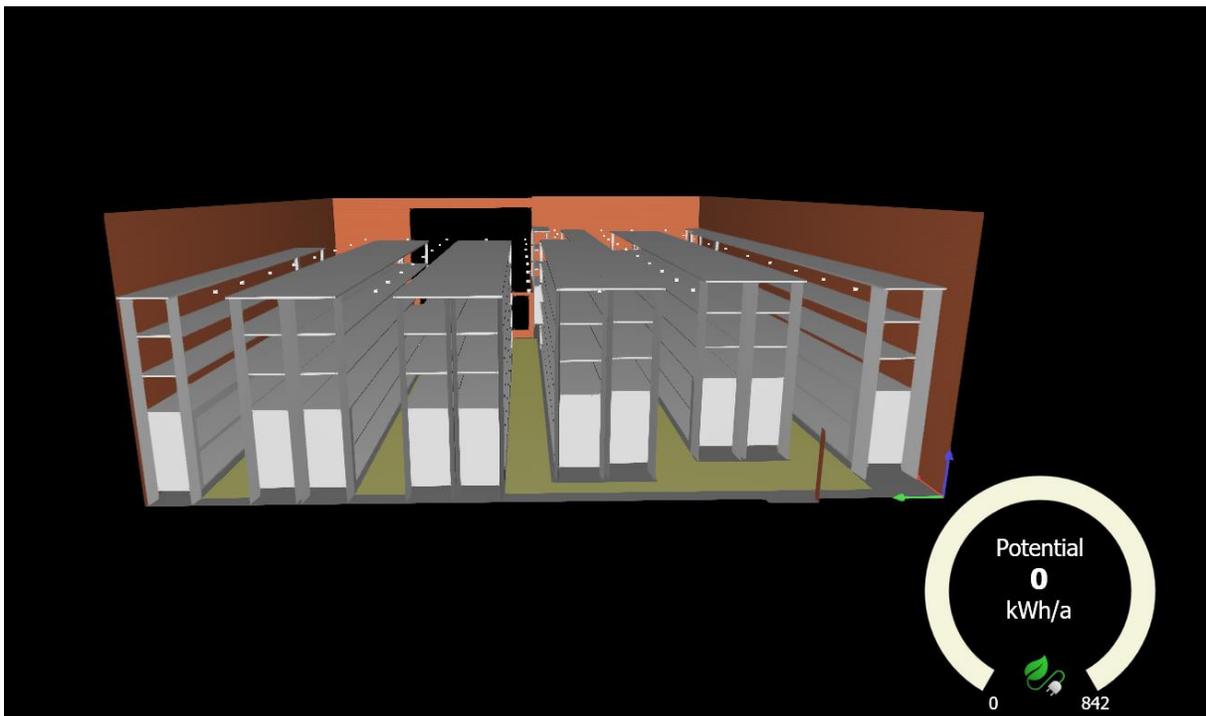


Fig. 23. Rediseño de iluminación bodega de almacenamiento de e materia prima en DIALux.



Fig. 24. Rediseño de iluminación bodega de almacenamiento de e materia prima en DIALux.

De esta manera, al realizar la simulación por medio del software al diseño planteado (y muy acorde a la realidad del área de trabajo) se obtienen los siguientes resultados en los parámetros de iluminancia, deslumbramiento y uniformidad, según los espacios delimitados al interior de la instalación.

TABLA V
RESULTADOS OFRECIDOS POR DIALUX EN REDISEÑO BODEGA DE MATERIA PRIMA

Zona de cálculo	Iluminancia [Lx]	Deslumbramiento	Uniformidad
Corredor	144	27,5	0,7
Pasillos 1 y 2	171	23,7	0,85
Pasillos 3, 4 y 5	159	10	1

A partir del rediseño planteado en la bodega de almacenamiento de materia prima, se obtienen resultados óptimos y acorde a la norma en cada una de las áreas de estudio planteadas, en las cuales se mantiene un nivel de iluminancia promedio en el rango de 100 Lx a los 200 Lx, niveles de deslumbramiento por debajo de 28 y nivel de uniformidad en el rango de 0,7 a 1, garantizando así niveles óptimos de iluminación que facilitan el desarrollo de las taras planteadas al interior de la instalación y mejoran la calidad de vida de los empleados al evitar desgastes visuales (objetivo primario del RETILAP).

De igual manera, se proceden a analizar las pérdidas calculadas en cada una de las subestaciones, basado en el reflejo de la EPM GM-02 en la herramienta de cálculo *EXCEL*, se tienen los siguientes resultados para las subestaciones planteadas.

SUB13-SP2

Los resultados obtenidos para la subestación interior que alimenta a la planta de producción de cartón plast, se reflejan a continuación:

TABLA VI
RESULTADO DE PÉRDIDAS EN SUB13-SP2

Línea	Pérdidas de potencia reactiva [VAR]	Pérdidas de potencia activa [W]	Porcentaje de pérdidas [%]
1	323.696,493	315.542,929	0,1517
2	181.140,214	176.577,488	0,1174
3	121.111,516	118.060,848	0,0952

Se encuentran resultados satisfactorios para la compañía debido a que estos son acordes con los porcentajes de pérdidas recomendados por la normativa de EPM, presentando así valores inferiores al 1,12% correspondientes al nivel 2 de tensión en cada una de las tres fases correspondientes a los circuitos presentes en la planta de cartón plast.

SUB17-SP2

Los cálculos realizados en la subestación que brinda energía en la planta de mallas y la bodega de almacenamiento de materia prima (contiguas entre sí) son los siguientes:

TABLA VII
RESULTADO DE PÉRDIDAS EN SUB17-SP2

Línea	Pérdidas de potencia reactiva [VAR]	Pérdidas de potencia activa [W]	Porcentaje de pérdidas [%]
1	160.975,986	156.921,176	0,1333
2	155.826,712	151.901,606	0,1302
3	166.072,022	161.888,848	0,1362

Al igual que el análisis realizado en la subestación 13, se logra evidenciar el correcto manejo de la electricidad dentro de ambas instalaciones, logrando resultados muy cercanos al 0% de porcentaje de pérdidas, resultados óptimos en cualquier nivel de tensión y acorde a la optimización reciente de muchos de sus equipos y su sistema de iluminación.

VI. CONCLUSIONES

El estudio correspondiente al nivel de eficiencia energética dentro de la Compañía de Empaques S.A. desarrollado durante los últimos 6 meses brindó una serie de conocimientos que enriquecen la experiencia profesional y de igual manera se brindó un panorama real en una muestra significativa de la empresa respecto a su consumo energético tal cual se tenía propuesto. Esto debido a que se corroboró la premisa central de la influencia mayoritaria del área industrial por sobre la división administrativa en la matriz energética de la empresa.

De igual manera se concluye que esta primera tanda de estudios detallados dentro de las plantas (se esperan realizar más en el futuro) requiere una continuidad en aras de realizar seguimiento a los acuerdos atribuidos con el BID y cumplir los indicadores propios de este compromiso contractual. En medio de esta política interna surge la imperiosa necesidad de adquirir equipos de medición acorde que busquen el cumplimiento del análisis detallado de pérdidas en cada uno de los circuitos de la compañía.

Al mismo tiempo, se realiza la inversión de la empresa en sus subestaciones más modernas con equipos acordes a la normativa colombiana y de una tecnología que hizo posible el desarrollo de este trabajo de grado gracias a los medidores inteligentes que constituyen cada uno de los tableros de distribución capaces de brindar información en tiempo real y documentar cambios en la red y cuya interpretación depende al área ingenieril. Hecho que solo reafirma la importancia de la correcta inversión en áreas de producción, en especial aquellas que dependen de cargas no lineales que tienden a congestionar la red por su contenido de armónicos, en especial para zonas operativas con frecuencia de 24 horas y 7 días a la semana.

Acto seguido se reafirma la necesidad de todo ingeniero electricista en el aprendizaje y correcto uso de software como *DIALux* y *AUTOCAD* siempre acorde a la normativa RETIE y RETILAP, conjunto de saberes que hicieron factible el proyecto en curso a partir de todas las tareas dependientes de los mismos. Estos se mantienen vigentes dentro de una profesión de amplia interdisciplinaridad y cuyo futuro se encuentra muy enfocado en las nuevas tecnologías de la

información y la inteligencia artificial, pero que en su área de diseño dependen en gran parte de los conocimientos y aportes surgidos desde estos dos programas.

Un aspecto por resaltar es la utilidad de los entregables de cálculo realizados durante el presente estudio, ya que brindan la posibilidad de adaptarse a futuros estudios dentro de la compañía y dentro de cualquier instalación de baja y media tensión que requiera hacer el adecuado seguimiento de las pérdidas de energía. Se debe recordar que este tipo de estudios se convierte en pieza fundamental ante ojos de la ley y se hacen cada día más necesarios en el ámbito de certificaciones dentro de instalaciones eléctricas o incluso en el terreno de posibles excepciones tributarias acordes al cumplimiento de objetivos planteados por la norma.

Finalmente, el producto arrojado por la investigación es muy positivo basado en el objetivo principal de la investigación, en el cual se denota una correcta disposición de los actuales circuitos de la compañía, los cuales dan cumplimiento a la normatividad acorde al porcentaje de pérdidas, garantizando así instalaciones eléctricas confiables y muy eficientes a nivel productivo. Esta disposición de carácter estandarizado ha garantizado el correcto cumplimiento en las zonas de estudio y generan la posibilidad de extender la línea de éxito de este estudio a futuros ya que la composición y equipo utilizado en otras plantas (y sus respectivas subestaciones) es basado en la misma composición estructural.

REFERENCIAS

[1] ACOLGEN, “Capacidad instalada en Colombia”. [En línea]. Disponible en: <https://acolgen.org.co/>

[2] Grupo Excala, “Informe de sostenibilidad Grupo Excala 2021”, Compañía de empaques S.A., Itagüí, Colombia, Rendición de cuentas 1. [En línea]. Disponible en: <https://grupoexcala.com/wp-content/uploads/2022/04/INFORME-DE-SOSTENIBILIDAD-2021-v2.pdf>

[3] Unidad Centro de Excelencia Técnica Normalización y Laboratorios - EPM, “Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico”. agosto de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.cens.com.co/Portals/0/normas-y-especificaciones/documentos%20en%20revisi%C3%B3n/1-CALCULO%20CONDUCTOR%20ECONOMICO/GM-01%20GUIA%20METODOLOGICA%20CALCULO%20DE%20CONDUCTOR%20ECONOMICO.pdf?ver=2021-04-19-145212-173>

[4] *Código eléctrico colombiano*, vol. 2050. 1998, p. 955. [En línea]. Disponible en: https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma_%20NTC_2050_98_codigo_electrico_col.pdf

[5] Ministerio de minas y energía, *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*, vol. Resolución. 2009, p. 243. [En línea]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-iluminaci%C3%B3n-y-alumbrado-p%C3%BAblico-retilap/>

[6] Héctor Luis Gonzalez Lopera, “Diseño, construcción y certificación de tableros eléctricos con base en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE).”, Tesis de grado,

ingeniería eléctrica., Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, 2018. [En línea]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/12162/1/GonzalezHector_2019_ReglamentoTecnicoInstalacionesElectricas.pdf

[7] F. B. Alfonso Aranda, María García, y Eduardo Alcalde, *ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía*, Primera. Primera. Zaragoza, España: UNE, 2014. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=v4IQDQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=eficiencia+energetica&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[8] Alberto Tama Franco, “Las pérdidas de energía eléctrica”, *Revista Energía*, vol. 1, p. 17, 2013.

[9] Unidad Centro de Excelencia Técnica Normalización y Laboratorios - EPM, “Guía metodológica: Cálculo de pérdidas de energía”. agosto de 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.essa.com.co/site/Portals/clientes/Norma_Tecnica_Vigente/Normas_Complementarias_Dise%C3%B1o/GM-02%20GUIA%20METODOLOGICA%20CALCULO%20DE%20PERDIDAS%20DE%20ENERGIA.pdf

[10] Carlos Mario Díez Henao, *Instalaciones eléctricas*, Segunda. Segunda. Medellín, Antioquia: L. Vieco e hijas Ltda., 2011.

[11] Ministerio de Minas y Energía, *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. 2013, p. 211. [En línea]. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/3809/Anexo_General_del_RETIE_vigente_actualizado_a_2015-1.pdf

[12] Departamento Administrativo de la Función Pública, *Ley 143 de 1994*. 1994, p. 21. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631#:~:text=Por%20>

la%20cual%20se%20establece,otras%20disposiciones%20en%20materia%20energ%C3%A9tica.