



Aplicación de herramientas, métodos y sistemas de gestión en marco de la planeación estratégica y el análisis de riesgos operacionales en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia

Diego Alejandro Carmona Montoya

Informe final proyecto de práctica profesional para optar al título de Ingeniero Industrial

Asesora

Yenny Alejandra Aguirre Álvarez, Magíster en Ingeniería Industrial

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

Medellín, Colombia

2023

| | |
|----------------------------|---|
| Cita | (Carmona Montoya, 2023) |
| Referencia | Carmona Montoya, D. A. (2023). <i>Aplicación de herramientas, métodos y sistemas de gestión en marco de la planeación estratégica y el análisis de riesgos operacionales en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia</i> [Proyecto práctica profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín. |
| Estilo APA 7 (2020) | |



Centro de Documentación 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: Mario Alberto Gaviria Giraldo.

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

A mi hermosa madre Beridiana María Montoya gracias por tanta paciencia, por tantas madrugadas junto a mí, por ayudarme a buscar los medios y la información para afrontar cada reto durante mi carrera profesional y este proyecto de práctica profesional; tal vez no comprendas algunas cosas al interior de este trabajo, pero tu evidenciaste de primera mano toda la dedicación, empeño, lágrimas de alegría y a veces de preocupación con las que se desarrolló. Todo el amor del mundo para ti mi bella madre.

A mi amado padre Juan Diego Carmona Vargas toda la gratitud y cariño del mundo, sin ti no lo hubiera podido lograr, siempre fuiste mi motor y me brindaste todo el apoyo incondicional para finalmente concluir mis estudios como Ingeniero Industrial independientemente de lo largos que hayan sido los años de carrera. Siempre estuviste ahí para brindarme una palabra reconfortante, el apoyo económico, tu tiempo, tus consejos y tu inspiración. Todos los días me dijiste que tiempo al tiempo, que no me desenfocara, que tomara las cosas siempre con cabeza fría y así fue, pasé de estar en una incertidumbre de cambiar de carrera o no a convertirme en su momento en el Mejor Estudiante Avanzado del pregrado. Hoy puedo decir felizmente que he tenido siempre un padre incondicional y que ha vivido el sueño junto a mí, con seguridad digo que estoy orgulloso de lo que estudié. Te amo padre.

Agradecimientos

Infinitas gracias al escenario de prácticas profesionales por permitirme conocer el gran universo que es el sector de generación de energía eléctrica de Colombia. A los electricistas todo mi cariño y gratitud por permitirme trabajar con ellos y dedicarme de su tiempo para ayudarme a comprender la dinámica de la electricidad que es un fenómeno que no podemos ver y por eso tal vez puede hacerse difícil de entender y más para un Ingeniero Industrial. A los mecánicos e instrumentistas mis agradecimientos por tantas orientaciones, anécdotas y enseñanzas del trasegar que ha tenido el sector eléctrico del país desde la generación, transmisión, distribución y comercialización. Gracias a todo el personal Ambiental, de Obras Civiles, Seguridad y Salud en el Trabajo, Talento Humano y Área Financiera por abrirme un espacio de su apretada agenda para ayudarme a profundizar, completar y corregir este proyecto de práctica profesional.

El vivir, conocer y recorrer diferentes centrales de generación de energía eléctrica fue una oportunidad única y maravillosa que no cualquier persona en el mundo puede vivir, me siento afortunado de ello y feliz de concluir este Sistema Integrado de Gestión, Propuesta de Redistribución y Estudio de Relocalización porque tengo el orgullo de decir que amé desarrollarlos y más que un proyecto de grado se convirtió en una aventura y en un pequeño recorrido por esta gran industria de la energía eléctrica que sostiene e impulsa día a día el desarrollo de la sociedad entera. Quedo eternamente agradecido con mi Asesora interna Yenny Alejandra Aguirre Álvarez por tanta paciencia y compromiso en el acompañamiento de este proyecto y con la Coordinadora de Prácticas Académicas de Ingeniería Industrial Orfi Nelly Alzate Montoya por brindarme la oportunidad de acceder a una práctica profesional única en el mundo.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 1 |
| Abstract | 2 |
| Introducción | 3 |
| 1 Objetivos | 5 |
| 1.1 Objetivo general | 5 |
| 1.2 Objetivos específicos | 5 |
| 2 Marco teórico | 6 |
| 3 Metodología | 8 |
| 4 Resultados y análisis | 11 |
| 4.1 Sistema Integrado de Gestión | 11 |
| 4.1.1 Planeación Estratégica | 11 |
| 4.1.2 Análisis de Riesgos Operacionales | 15 |
| 4.1.3 Planificación del Sistema Integrado de Gestión | 16 |
| 4.1.4 Alcance Sistema Integrado de Gestión (SIG) | 16 |
| 4.1.5 Ajuste del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) | 18 |
| 4.1.6 Propuesta del Sistema Integrado de Gestión (SIG) | 19 |
| 4.1.6.1 Modelo de Gestión Integrada | 19 |
| 4.1.6.2 Salvedades del Sistema Integrado de Gestión (SIG) | 21 |
| 4.1.6.3 Aplicación y evaluación del Sistema Integrado de Gestión | 22 |
| 4.1.6.4 Veeduría y cumplimiento del Sistema Integrado de Gestión | 23 |
| 4.1.6.5 Responsabilidades para el funcionamiento del Sistema Integrado de Gestión | 23 |
| 4.1.6.6 Metodología de Aplicación del Sistema Integrado de Gestión | 24 |
| 4.1.6.6.1 Documentación y flujo del proceso | 24 |

| | |
|--|----|
| 4.1.6.6.2 Diagrama SIPOC | 25 |
| 4.1.6.6.3 Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales | 26 |
| 4.1.6.6.4 Matriz de Riesgos y Peligros (Seguridad y Salud en el Trabajo) | 29 |
| 4.1.6.6.5 Matriz Ambiental | 32 |
| 4.1.6.6.6 Matriz de Roles y Responsabilidades | 34 |
| 4.2 Diseño de distribución de planta | 36 |
| 4.2.1 Diagnóstico distribución actual | 36 |
| 4.2.2 Redistribución del proceso en planta. | 37 |
| 4.2.3 Redistribución desde la Ingeniería del Trabajo. | 38 |
| 4.2.4 Redistribución desde las Obras Civiles. | 39 |
| 4.2.5 Redistribución desde la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) | 40 |
| 4.2.6 Propuesta de redistribución en planta para el taller de reparación | 42 |
| 4.2.6.1 Descripción de la redistribución para el taller de reparación | 43 |
| 4.2.7 Requerimientos para redistribución | 45 |
| 4.2.7.1 Obras civiles | 45 |
| 4.2.7.2 Cerrajería | 46 |
| 4.2.7.3 Mobiliario | 47 |
| 4.3 Estudio de Relocalización | 48 |
| 4.3.1 Criterios y recolección de información | 48 |
| 4.3.1.1 Seguridad | 49 |
| 4.3.1.2 Vías de acceso | 49 |
| 4.3.1.3 Disponibilidad de mano de obra | 50 |
| 4.3.1.4 Costos de transporte | 51 |
| 4.3.1.5 Condiciones físicas-disponibilidad de terreno. | 55 |
| 4.3.1.6 Impuestos | 57 |

| | |
|---|----|
| 4.3.1.7 Condiciones ambientales | 57 |
| 4.3.1.8 Seguros | 58 |
| 4.3.2 Aplicación Métodos de Localización | 60 |
| 4.3.2.1 Método Carga-Distancia | 60 |
| 4.3.2.2 Método Analítico Jerárquico (AHP) | 62 |
| 4.3.2.2.1 Normalización de la matriz de criterios | 63 |
| 4.3.2.2.2 Vías | 66 |
| 4.3.2.2.3 Seguridad | 67 |
| 4.3.2.2.4 Disponibilidad de mano de obra | 68 |
| 4.3.2.2.5 Costos de transporte | 69 |
| 4.3.2.2.6 Condiciones ambientales | 70 |
| 4.3.2.2.7 Seguros | 71 |
| 4.3.2.2.8 Condiciones físicas-Disponibilidad del terreno | 72 |
| 4.3.2.2.9 Resultados finales Método AHP | 74 |
| 4.3.2.3 Método Brown & Gibson | 76 |
| 4.3.2.3.1 Factores críticos | 76 |
| 4.3.2.3.2 Factores objetivos (FOi) | 77 |
| 4.3.2.3.3 Factores subjetivos (FSi) | 77 |
| 4.3.2.3.4 Resultados finales del método de Brown & Gibson | 79 |
| 4.4 Síntesis Planeación Estratégica y Análisis de Riesgos Operacionales | 80 |
| 6 Conclusiones | 82 |
| 7 Recomendaciones | 83 |
| Referencias | 84 |
| Anexos | 85 |
| Anexo 2. Indicadores de gestión para el sector de generación de energía eléctrica | 92 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Riesgos operacionales taller de reparación de componentes eléctricos | 15 |
| Tabla 2: Ajuste e integración del Sistema de Gestión de la Calidad | 18 |
| Tabla 3: Aplicación y evaluación del Sistema Integrado de Gestión | 22 |
| Tabla 4: Veeduría y cumplimiento del Sistema Integrado de Gestión | 23 |
| Tabla 5: Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales | 27 |
| Tabla 6: Matriz de Riesgos y Peligros SST | 30 |
| Tabla 7: Matriz Ambiental | 33 |
| Tabla 8: Matriz Roles y Responsabilidades | 34 |
| Tabla 9: Especificaciones de la redistribución | 43 |
| Tabla 10: Especificaciones técnicas obras civiles | 45 |
| Tabla 11: Especificaciones cerrajería | 46 |
| Tabla 12: Recursos mobiliarios necesarios para taller de reparación | 47 |
| Tabla 13: Alternativas para relocalizar | 48 |
| Tabla 14: Estudio Seguridad Vial – Condición Vías de Acceso | 50 |
| Tabla 15: Escala de valoración atracción y selección | 51 |
| Tabla 16: Pesos componentes eléctricos Centrales Hidroeléctricas | 52 |
| Tabla 17: Tipo de camión envío componentes | 53 |
| Tabla 18: Distancia entre centrales hidroeléctricas | 54 |
| Tabla 19: Costos envíos componentes eléctricos entre centrales | 55 |
| Tabla 20: Especificaciones terreno | 56 |
| Tabla 21: Disponibilidad terreno centrales | 56 |
| Tabla 22: Humedades relativas centrales | 58 |
| Tabla 23: Costos seguros centrales | 59 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24: Aplicación método carga-distancia | 60 |
| Tabla 25: Escala de resultados método de carga distancia | 61 |
| Tabla 26: Escala Saaty | 62 |
| Tabla 27: Matriz prioridad criterios | 63 |
| Tabla 28: Normalización matriz criterios | 63 |
| Tabla 29: Vector promedio matriz criterios | 64 |
| Tabla 30: Ponderación de criterios | 64 |
| Tabla 31: Nivel de importancia criterios | 65 |
| Tabla 32: Índice de consistencia aleatoria según criterios | 65 |
| Tabla 33: Cálculos razón de consistencia | 66 |
| Tabla 34: Matriz criterio vías | 66 |
| Tabla 35: Resultados Matriz criterio vías | 67 |
| Tabla 36: Matriz criterio seguridad | 67 |
| Tabla 37: Resultados Matriz criterio seguridad | 68 |
| Tabla 38: Matriz criterio disponibilidad de mano de obra | 68 |
| Tabla 39: Resultados Matriz criterio disponibilidad de mano de obra | 69 |
| Tabla 40: Matriz criterio costos de transporte | 69 |
| Tabla 41: Resultados Matriz criterio costos de transporte | 70 |
| Tabla 42: Matriz criterio condiciones ambientales | 70 |
| Tabla 43: Resultados Matriz condiciones ambientales | 71 |
| Tabla 44: Matriz criterio seguros | 71 |
| Tabla 45: Resultados Matriz criterio seguros | 72 |
| Tabla 46: Matriz criterio disponibilidad del terreno | 72 |
| Tabla 47: Resultados Matriz disponibilidad del terreno | 73 |
| Tabla 48: Resultados finales Método AHP | 74 |

| | |
|--|----|
| Tabla 49: Resultados finales ponderados Método AHP | 75 |
| Tabla 50: Factores críticos método de Brown & Gibson | 76 |
| Tabla 51: Datos para método de Brown & Gibson | 76 |
| Tabla 52: Costos totales para método de Brown & Gibson | 77 |
| Tabla 53: Resultado factores objetivo método de Brown & Gibson | 77 |
| Tabla 54: Escala de valoración para factores subjetivos del método Brown & Gibson | 77 |
| Tabla 55: Resultados factores subjetivos del método Brown & Gibson | 78 |
| Tabla 56: Resultados factores objetivos y subjetivos del método Brown & Gibson | 79 |
| Tabla 57: Cálculo del MPL | 79 |
| Tabla 58: Resultado MPL (ganador método Brown & Gibson) | 79 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Diagrama causal análisis del proceso de reparación de componentes | 12 |
| Figura 2: Mapa de procesos reparación de componentes eléctricos | 13 |
| Figura 3: Matriz DOFA análisis estratégico del proceso de reparación de componentes | 14 |
| Figura 4: Lienzo propuesta de valor reparación de componentes eléctricos | 17 |
| Figura 5: Modelo de Gestión Integrada | 20 |
| Figura 6: Diagrama de flujo del proceso | 25 |
| Figura 7: Diagrama SIPOC | 26 |
| Figura 8: Distribución actual taller de reparación de componentes eléctricos | 36 |
| Figura 9: Hilos y recorridos taller de reparación de componentes eléctricos | 36 |
| Figura 10: Redistribución preliminar taller de reparación de componentes eléctricos | 38 |
| Figura 11: Distribución en planta final desde la Ingeniería del Trabajo | 38 |
| Figura 12: Distribución ajustada desde el punto de vista de obras civiles | 40 |
| Figura 13: Plan de evacuación SST para el taller de reparación | 41 |
| Figura 14: Propuesta de redistribución en planta para el taller | 42 |
| Figura 15: Esquema del Alcance de Gestión del Ingeniero Industrial en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia | 81 |

Siglas, acrónimos y abreviaturas

| | |
|----------------------|--|
| SIG | Sistema Integrado de Gestión |
| SGC | Sistema de Gestión de la Calidad |
| SST | Seguridad y Salud en el Trabajo |
| SG-SST | Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo |
| SGA | Sistema de Gestión Ambiental |
| NTC | Norma Técnica Colombiana |
| ISO | Organización Internacional de Normalización |
| AHP | Proceso Analítico Jerárquico |
| MPL | Medida de Preferencia de Localización |
| m² | Metros cuadrados |
| Wi | Promedio ponderado |
| SIPOC | Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes |
| HSSE | Salud, Protección, Seguridad y Medio Ambiente |
| NSR | Norma Sismo Resistente |
| EPP | Elementos de Protección Personal |
| cm | Centímetros |
| m³ | Metros cúbicos |
| kg | Kilogramos |
| TN | Toneladas |
| OSHAS | Salud Ocupacional y Series de Evaluación de la Seguridad |
| m | Metros |
| IPC | Índice de precios al consumidor |
| ICA | Índice de consistencia aleatorio |
| IC | Índice de consistencia |
| RIC | Razón de consistencia |
| FODA | Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas |

Resumen

El mantenimiento eléctrico es uno de los procesos claves del sector de generación de energía eléctrica de Colombia y para ejecutarlo se requiere planeación, sistemas de gestión y crecimiento de la infraestructura física para mitigar y/o controlar los riesgos y posibilitar el logro de los objetivos planteados. Este proyecto de práctica profesional se realizó para un taller de reparación de componentes del área de mantenimiento eléctrico de una central hidroeléctrica de Colombia para hacerle frente a los desafíos del entorno y ajustarse a las nuevas normativas y condiciones políticas, económicas, ambientales y sociales; durante el desarrollo se aplican herramientas, métodos y sistemas de gestión en marco de la planeación estratégica y el análisis de riesgos operacionales del taller para crear el Sistema Integrado de Gestión al agrupar los sistemas de Gestión Ambiental, de Calidad y de Seguridad y Salud en el Trabajo; además de diseñar una propuesta de redistribución a partir del estudio de la Ingeniería del Trabajo, la normatividad de Seguridad y Salud en el Trabajo y los requerimientos de Obras Civiles, y finalmente se elabora un estudio de relocalización del taller con los métodos de Carga-Distancia, Multicriterio Analítico-Jerárquico (AHP) y Brown-Gibson por medio del análisis cuantitativo y cualitativo de factores como vías, seguridad, disponibilidad de mano de obra, costos-distancia en transporte, condiciones ambientales, seguros, disponibilidad del terreno e impuestos. Al final se detalla el alcance de la gestión del Ingeniero Industrial en el sector de generación de energía eléctrica, el cual logró articular diferentes aristas de la compañía en un solo panorama llamado Sistema Integrado de Gestión; además de formular, evaluar y gestionar proyectos como la redistribución y relocalización que se convirtieron en una metodología y en un referente de Mejoramiento Continuo para las nuevas iniciativas al interior de la organización que brinden respuesta a los retos, necesidades, oportunidades y problemáticas.

Palabras clave: Sistemas integrados de gestión, riesgos operacionales, normas ISO, planeación estratégica, central hidroeléctrica, localización, método AHP, distribución en planta

Abstract

Electrical maintenance is one of the key processes in the electric power generation sector in Colombia and to execute it requires planning, management systems and growth of the physical infrastructure to mitigate and/or control risks and enable the achievement of the objectives set. This professional practice project was carried out for a repair shop of components of the electrical maintenance area of a hydroelectric power plant in Colombia to face the challenges of the environment and adjust to the new regulations and political, economic, environmental and social conditions; during the development tools, methods and management systems are applied within the framework of strategic planning and analysis of operational risks of the shop to create the Integrated Management System by grouping the systems of Environmental Management, Quality and Occupational Health and Safety; In addition to designing a redistribution proposal based on the study of Work Engineering, Occupational Health and Safety regulations and Civil Works requirements, and finally, a workshop relocation study is prepared using the Load-Distance, Analytical Hierarchy Process (AHP) and Brown-Gibson methods by means of quantitative and qualitative analysis of factors such as roads, safety, labor availability, transportation cost-distance, environmental conditions, insurance, land availability and taxes. At the end, the scope of the Industrial Engineer's management in the electric power generation sector is detailed, which managed to articulate different aspects of the company in a single panorama called Integrated Management System; in addition to formulating, evaluating and managing projects such as redistribution and relocation that became a methodology and a reference of Continuous Improvement for new initiatives within the organization that provide answers to the challenges, needs, opportunities and problems.

Keywords: Integrated management systems, operational risks, ISO standards, strategic planning, hydroelectric power plant, localization, AHP method, plant layout

Introducción

Hoy en día para las diferentes organizaciones es fundamental efectuar la planeación estratégica y el análisis de riesgos operacionales para mitigar y/o controlar los desafíos y problemáticas que presenta un mundo cada vez más cambiante y complejo; el panorama actual vislumbra un entorno interconectado en donde cada factor o cada área está entrelazada con las demás, por ende, no sería extraño que un problema ambiental en una compañía afecte la calidad de sus productos, servicios o la salud de sus trabajadores; es así como han cobrado relevancia los Sistemas Integrados de Gestión, que no es más que implementar un modelo de administración, coordinación y control que agrupe diferentes elementos y áreas de la organización ya sean Ambientales, de Calidad o de Seguridad y Salud en el Trabajo para el logro de los objetivos trazados a corto, mediano y largo plazo. Adicionalmente, para poder enfrentar los desafíos del entorno y ajustarse a las nuevas normativas y condiciones políticas, económicas y sociales; es necesario que las organizaciones constantemente mejoren, cambien, redistribuyan o relocalicen su infraestructura y capacidad física.

El presente trabajo se realizó en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia, que es la industria del país que se encarga de transformar diferentes tipos de energía como la térmica, cinética y lumínica en electricidad por medio de diferentes procesos mecánicos y eléctricos en centrales térmicas, hidroeléctricas, parques solares y/o eólicos. Los procesos mecánicos y eléctricos que transforman los diferentes tipos de energía en electricidad se dan por medio de diferentes máquinas y componentes, estos deben tener un mantenimiento predictivo y/o correctivo cada cierto tiempo para poder garantizar la generación de energía eléctrica con todos los criterios de seguridad y calidad.

Durante el desarrollo se aplicaron herramientas, métodos y sistemas de gestión en marco de la planeación estratégica y el análisis de riesgos operacionales para un taller de reparación de componentes eléctricos; este se encuentra ubicado en una Central Hidroeléctrica de una compañía de generación de energía eléctrica de Colombia y en él se reparan diferentes componentes eléctricos de los generadores hidroeléctricos; dicha reparación consiste inicialmente en inspeccionar, identificar las fallas (cortos), posterior a esto se limpian, pintan, se aplica soldadura, sellantes y aislantes; finalmente se pulen y se vuelven a instalar en el generador de energía eléctrica. Anteriormente, este proceso de reparación se hacía a un alto costo en el extranjero, sin embargo, tras años de benchmarking, transferencia de conocimiento, estudios e investigaciones por parte de la empresa se logra desarrollar este proceso de reparación a un costo muchísimo menor con sus propios recursos y personal, naciendo de esta manera el taller de reparación de componentes eléctricos dentro de la Central Hidroeléctrica.

El taller cuenta con un área aproximada de 330 m² y hasta el año 2022 ha prestado servicios de reparación para otras dos centrales hidroeléctricas y ha representado un gran valor para la compañía y se convierte así en un caso de éxito en materia de investigación, innovación y desarrollo; es ahí donde se pretende ampliar esa reparación para el resto de las centrales hidroeléctricas de la organización, que serían trece en total, pero aún no se cuenta ni con una planeación estratégica donde se evalúen y mitiguen cada uno de los riesgos operacionales del taller ni con la infraestructura física necesaria que permita hacerle frente a más requerimientos. Ante la necesidad de garantizar una cobertura del taller para el resto de la compañía se vuelve imprescindible estandarizar el proceso y elaborar un Sistema Integrado de Gestión además de una ampliación, redistribución y/o construcción de un nuevo taller para ofrecer un servicio con todos los requisitos que garanticen una reparación eléctrica de forma ordenada y coordinada; finalmente se hace necesario definir en qué lugar sale más rentable, sostenible y sustentable relocalizar el taller al mediano y largo plazo para ejecutar cada una de las solicitudes de mantenimiento eléctrico de todas las centrales hidroeléctricas de la compañía y lograr el cumplimiento de los diferentes objetivos a nivel de Calidad, Ambiente y Seguridad y Salud en el Trabajo.

Se cumple con el objetivo de este trabajo con el desarrollo de tres insumos para el taller de reparación de componentes eléctricos, primero un Sistema Integrado de Gestión para el taller a partir de una Planeación Estratégica que agrupa la filosofía, el análisis interno y externo de la compañía, las barreras y controles para mitigar los Riesgos Operacionales, segundo el diseño de una propuesta de redistribución que reúne el estudio de la Ingeniería del Trabajo, la normatividad de Seguridad y Salud en el Trabajo y los requerimientos de Obras Civiles y tercero y último, la elaboración del estudio de relocalización con los métodos de Carga-Distancia, Multicriterio Analítico-Jerárquico (AHP) y Brown-Gibson a partir del análisis cuantitativo y cualitativo de factores como vías, seguridad, disponibilidad de mano de obra, costos-distancia en transporte, condiciones ambientales, seguros, disponibilidad del terreno e impuestos con la asesoría de diferentes equipos y áreas de la empresa, dicho insumo brinda tres resultados diferentes; desde el método de Carga-Distancia se obtiene el valor carga-distancia, y gana la central que obtiene el menor valor; desde el Método AHP se halla el porcentaje de Ponderación (W_i) y en Brown & Gibson se obtiene la Media de preferencia de localización (MPL); en estos dos últimos se recomienda relocalizar el taller en la central que obtuvo el mayor valor.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Aplicar herramientas, métodos y sistemas de gestión en marco de la planeación estratégica y el análisis de riesgos operacionales en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia.

1.2 Objetivos específicos

- Crear un Sistema Integrado de Gestión para un taller de reparación de componentes eléctricos del sector de generación de energía eléctrica de Colombia a partir de la aplicación de herramientas para mitigar y/o controlar los riesgos operacionales entorno a la Calidad, la Gestión Ambiental y la Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Diseñar una propuesta de redistribución para un taller de reparación de componentes eléctricos del sector de generación de energía eléctrica de Colombia a partir del estudio de la Ingeniería del Trabajo, la normatividad de Seguridad y Salud en el Trabajo y los requerimientos de Obras Civiles.
- Elaborar un estudio de relocalización para un taller de reparación de componentes eléctricos del sector de generación de energía eléctrica de Colombia con los métodos de Carga-Distancia, Multicriterio Analítico-Jerárquico (AHP) y Brown-Gibson a partir del análisis cuantitativo y cualitativo de diferentes criterios.

2 Marco teórico

- **Proceso.** La norma ISO 9000:2000 define a modo general un proceso como toda aquella actividad que utiliza y gestiona recursos (entradas) para transformarlos en resultados (salidas), así como Harrington (1993) quien describe los procesos también son cualquier actividad o grupo de actividades que emplean un insumo y le dan valor para dárselo a un cliente externo. Según Palma et al. (2015) todas las organizaciones tienen procesos, pero no siempre están identificados. Los procesos requieren de recursos, procedimientos, planificación, actividades y responsables.
- **Indicadores de Gestión.** En palabras de García (2007) los indicadores de gestión son factores para establecer el logro y el cumplimiento de la misión, objetivos y metas de un determinado proceso y que deben tener los atributos de la información, tanto de forma individual así como de manera agrupada, además es un sistema de información estadística, financiera, administrativa y operativa que posibilita la toma de decisiones acertadas y oportunas, que conduce a la adopción de medidas correctivas y que pueden controlar la evolución en el tiempo de las principales variables y procesos.
- **Calidad.** La norma ISO 9000:2015 define la calidad como el grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos, sin embargo, esto puede ser más específico y la noción de calidad según Rodríguez y Bravo (1991) está más enfocada a evaluar el producto o servicio del sistema y de sus partes y en qué medida puede satisfacerse lo que espera (el cliente) de él.
- **Estandarización.** La estandarización es el desarrollo sistemático, aplicación y actualización de patrones, medidas uniformes y especificaciones para materiales, productos o marcas (Tafolla, 2000) y para otros autores como Florian y Gil (2016) la estandarización de procesos no es más que un proceso mediante el cual se realiza una actividad de manera standard o previamente establecida.
- **Normas ISO 9001.** Para Yáñez (2008) la ISO 9001 es una norma internacional que se aplica a los sistemas de gestión de calidad (SGC) y que se centra en todos los elementos de administración de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios.

- **Mejora continua.** Según el Consejo Nacional de Acreditación (2009) el mejoramiento continuo (o garantía de calidad) puede describirse como la atención continua, estructurada y sistemática a la calidad en términos de su mantenimiento y mejora y para Ramírez y Rivera (2009) la mejora continua es un proceso que busca contribuir a mejorar las debilidades y afianzar las fortalezas de la organización en donde las organizaciones deben analizar los procesos utilizados, de manera tal que si existe algún inconveniente pueda mejorarse o corregirse.
- **Distribución de plantas industriales.** Una distribución de planta es para Domínguez (1995) la determinación de la mejor ordenación de los factores disponibles, de modo que constituyan un sistema productivo capaz de alcanzar los objetivos fijados en la forma más adecuada y eficiente posible. De esta forma, se estudian aspectos como la necesidad de espacio, accesibilidad y privacidad, además, según Rios et al. (2003) la misión de la distribución en planta es hallar una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo, buscando lo más económico, seguro y satisfactorio para los empleados.
- **Estudio de métodos y tiempos.** Para Guzmán y Castaño (2013) es el estudio del trabajo que busca mejorar rendimientos en todas aquellas actividades que involucran esfuerzos físicos y mentales orientados hacia la obtención de un producto o prestación de un servicio determinado, al efectuar una disminución de esfuerzos y movimientos innecesarios que no generan valor sobre la fabricación, los cuales se convierten en factores determinantes en el momento de evaluar la eficiencia en una planta productiva.
- **Localización.** En palabras de Machicado y Quiroga (2016) la localización tiene por objetivo analizar los diferentes lugares donde es posible ubicar el proyecto, buscando establecer una ubicación que ofrezca los máximos beneficios, los mejores costos, es decir en donde se obtenga la máxima ganancia y según Rase (1984) estudiarse cuidadosamente no sólo la mayoría de los factores tangibles como las disponibilidades de mano de obra y las fuentes de materia prima, sino también, un gran número de factores intangibles que son más difíciles de evaluar.

3 Metodología

La metodología ejecutada en el transcurso del proyecto fue de enfoque mixto mediante la aplicación de diferentes técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo a través del método analítico-descriptivo. Para alcanzar los objetivos específicos, el proyecto se dividió en cinco (5) fases: desarrollo del Sistema Integrado de Gestión, diseño de la propuesta de redistribución, la elaboración del estudio de relocalización y finalmente, la síntesis de la planeación estratégica y el análisis de riesgos operacionales

Las fases se ejecutaron de la siguiente manera:

- **Fase I. Desarrollo del Sistema Integrado de Gestión:** El proyecto comienza haciendo un análisis estratégico tanto interno como externo de la compañía; primero se estudia la filosofía de la empresa, sus valores y principios; luego se documentan las necesidades, problemas, entradas, salidas y procesos claves que se realizan en el taller de reparación de componentes eléctricos y la articulación de este a todas las áreas de la compañía por medio de diagramas causales, mapa de procesos y análisis FODA. Una vez se detalla el análisis interno se procede a examinar el entorno y a identificar los riesgos operacionales que pueden interrumpir el correcto funcionamiento del taller y el área de la compañía involucrada.

A partir de la definición de los riesgos operacionales del taller y de las necesidades y problemáticas identificadas se procede a delimitar el alcance del Sistema Integrado de Gestión que se busca desarrollar, explicando la política de calidad que se quiere tener y su generación de valor en la compañía por medio de un lienzo de propuesta de valor; luego se procede a detallar los capítulos de la Norma Técnica Colombiana ISO 9001:2015 que van a desarrollarse como Sistema de Gestión de la Calidad y posteriormente integrarse con el Sistema de Gestión Ambiental y el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo. Después se elabora el Modelo Integrado de Gestión y se detalla la forma de aplicación y evaluación del Sistema Integrado de Gestión, su veeduría y cumplimiento, así como las responsabilidades de los involucrados.

Finalmente se desarrollan las diferentes herramientas del Sistema Integrado de Gestión como el Diagrama de flujo del proceso, Diagrama SIPOC, Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales, Matriz de Riesgos y Peligros de Seguridad y Salud en el Trabajo, Matriz Ambiental y Matriz de Roles y Responsabilidades que mitigarán y/o controlarán los riesgos operacionales a los que está asociado el taller.

- **Fase II. Diseño propuesta de redistribución:** La Planeación Estratégica, el Análisis de Riesgos Operacionales y el Sistema Integrado de Gestión robustecen el flujo de operación del taller de reparación de componentes eléctricos al brindar herramientas para hacerlo más competitivo ante los desafíos que trae el contexto actual y futuro, sin embargo, para que toda esta estrategia puede materializarse también es necesario que la infraestructura física del taller evolucione; es así, como se elabora una propuesta de redistribución para el taller, la cual inicia con un diagnóstico de la distribución actual desde la Ingeniería del Trabajo y la Seguridad y Salud en el Trabajo, aquí se analizan los hilos y recorridos, evaluando los desplazamientos que se ejercen en el taller para ejecutar cada una de las actividades y la ubicación de las señales y rutas de evacuación.

A partir del diagnóstico se procede a elaborar un nuevo flujo y distribución para el taller desde la Ingeniería del Trabajo en el software SketChup; dicha propuesta se ajusta a los requerimientos de Obras Civiles con base a la Norma Sismo Resistente (NSR-10) en un plano en el software AutoCAD ajustando medidas de cimentaciones, vigas y columnas con ayuda del Profesional de Obras Civiles de la Central Hidroeléctrica. Después, se unifican los ajustes de Obras Civiles y los requerimientos de Ingeniería del Trabajo en un solo plano en SketChup; a este plano se le ajustan las exigencias de Seguridad y Salud en el Trabajo al delimitar un plan de evacuaciones con las respectivas ubicaciones de salidas de emergencia, extintores, camillas, botiquines y rutas de evacuaciones al apoyarse de la Norma Técnica Colombiana 1700 (Higiene y Seguridad, Medidas de Seguridad en Edificaciones y Medios de Evacuación) y 1461 (Símbolos y señales de seguridad. Dimensiones y disposición) que se enfocan en la OSHAS 18001 la cual es el estándar internacional utilizado para la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Al final se ejecuta la distribución completa en SketChup y se presentan las especificaciones a nivel de proceso para cada área de trabajo del taller, con sus medidas, aspectos técnicos desde las Obras Civiles, bienes de cerrajería y mobiliario para tener un taller que cumpla con todas las exigencias de Calidad y Seguridad y Salud en el Trabajo.

- **Fase III. Elaboración estudio de relocalización:** Al tener un taller de reparación de componentes eléctricos con un Sistema Integrado de Gestión y una propuesta de redistribución a ejecutar es idóneo cuestionar desde la Planeación Estratégica dónde debe estar ubicado dicho taller, si es más conveniente dejarlo en la Central Hidroeléctrica donde está actualmente y remodelarlo para redistribuirlo o si por el contrario desde la estrategia de la compañía a mediano y largo plazo es más útil relocalizarlo en otra de las 13 Centrales Hidroeléctricas de las que se cuenta actualmente; en este orden de ideas inicialmente se establecen los criterios de selección que serán estratégicos para relocalizar el taller, estos se definen a través del análisis interno que se hizo de la compañía y con un diálogo previo con el personal directivo a cargo del taller; al definirse esto, se procede a ejecutar una búsqueda de información de cada una de las centrales estudiadas respecto a los diferentes criterios de selección, dicha información es de carácter cualitativo como cuantitativo y se obtiene de diferentes áreas de la empresa; esta fase culmina con la sistematización de la información recolectada y se organizan los hallazgos y datos para aplicar los diferentes métodos de relocalización.

Con los datos e información sistematizada de cada una de las Centrales Hidroeléctricas en cada uno de los criterios seleccionado se procede a aplicar los métodos de localización de Carga-Distancia, AHP (Analítico Jerárquico) y Brown-Gibson; se tabulan los resultados de cada uno de los tres y se define con base a estos la mejor ubicación para el taller de reparación de componentes eléctricos.

- **Fase IV. Síntesis Planeación Estratégica y Análisis de Riesgos Operacionales:** El proyecto finaliza con la elaboración de una síntesis que recoge las herramientas, métodos y sistemas de gestión desarrollados para la Planeación Estratégica y el Análisis de Riesgos Operacionales, detallando las lecciones aprendidas y los principales logros obtenidos.

4 Resultados y análisis

4.1 Sistema Integrado de Gestión

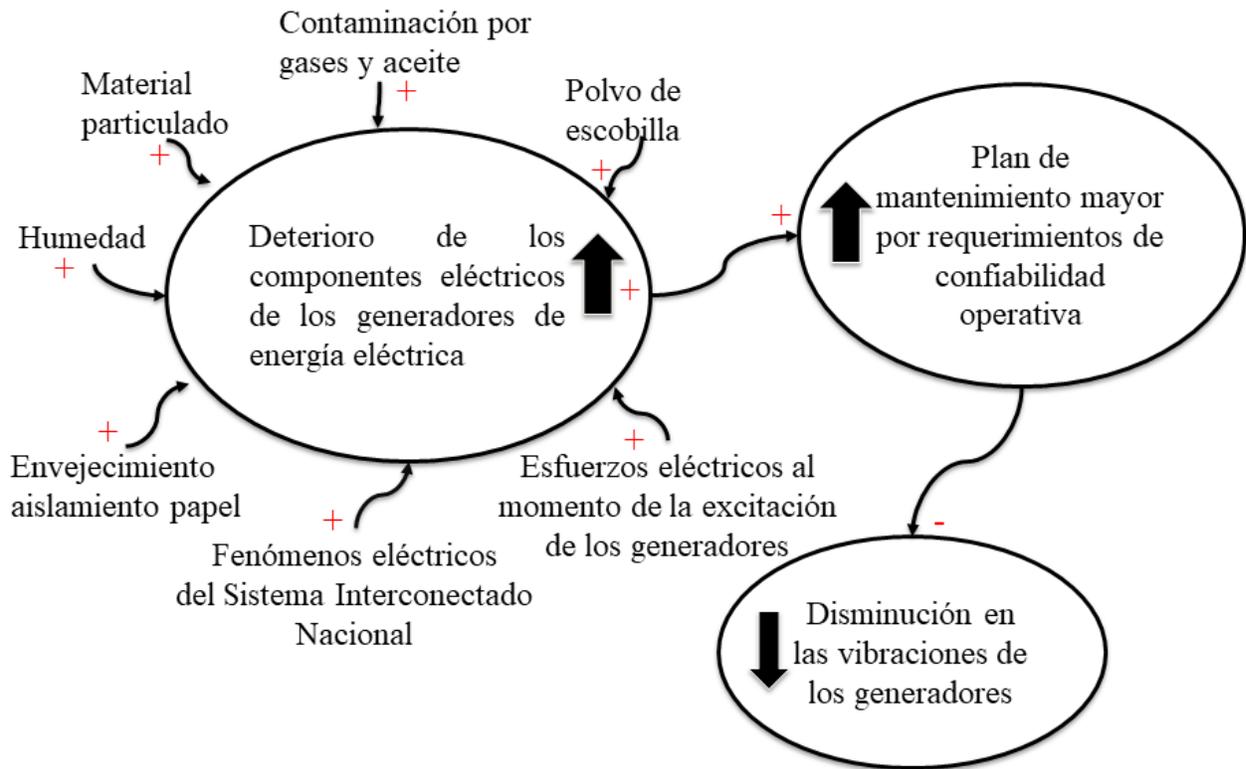
4.1.1 Planeación Estratégica

La Planeación Estratégica para el desarrollo del Sistema de Gestión de la Calidad comienza con el análisis interno de la compañía al estudiar la filosofía, los valores, la motivación de la empresa y al reconocer y estudiar el proceso mismo de la reparación (subproceso por subproceso, actividad por actividad) y se halla lo siguiente: La responsabilidad de la empresa es ser sostenible y crear valor a partir de responsabilidad social corporativa que involucra criterios económicos, ambientales, de buen gobierno y desarrollo de tejido social. La razón de ser de la compañía es generar energía a partir de fuentes limpias y renovables y el objetivo es consolidarse como la empresa líder de generación de energía a largo plazo en Colombia. Los valores y pilares fundamentales para la compañía son la Seguridad y Salud en el Trabajo, Responsabilidad Social y Ambiental y Excelencia Operacional.

Al inspeccionar y ejecutar el reconocimiento del proceso de reparación de componentes eléctricos se encuentra que el deterioro de los mismos dentro del generador hidroeléctrico se presenta por la presencia de material particulado, humedad, envejecimiento del aislamiento del papel, fenómenos eléctricos del Sistema Interconectado Nacional, esfuerzos eléctricos al momento de la excitación de la máquina, polvo de escobilla y contaminación por gases y aceite; siendo necesario adelantar planes de mantenimiento mayor para cambiar estos componentes eléctricos por requerimientos de confiabilidad operativa para la generación de energía eléctrica puesto que si no se hace las vibraciones de los generadores seguirán aumentando; tal y como se detalla en el siguiente diagrama causal (**Figura 1 Diagrama causal análisis del proceso de reparación de componentes eléctricos**).

Figura 1

Diagrama causal análisis del proceso de reparación de componentes eléctricos

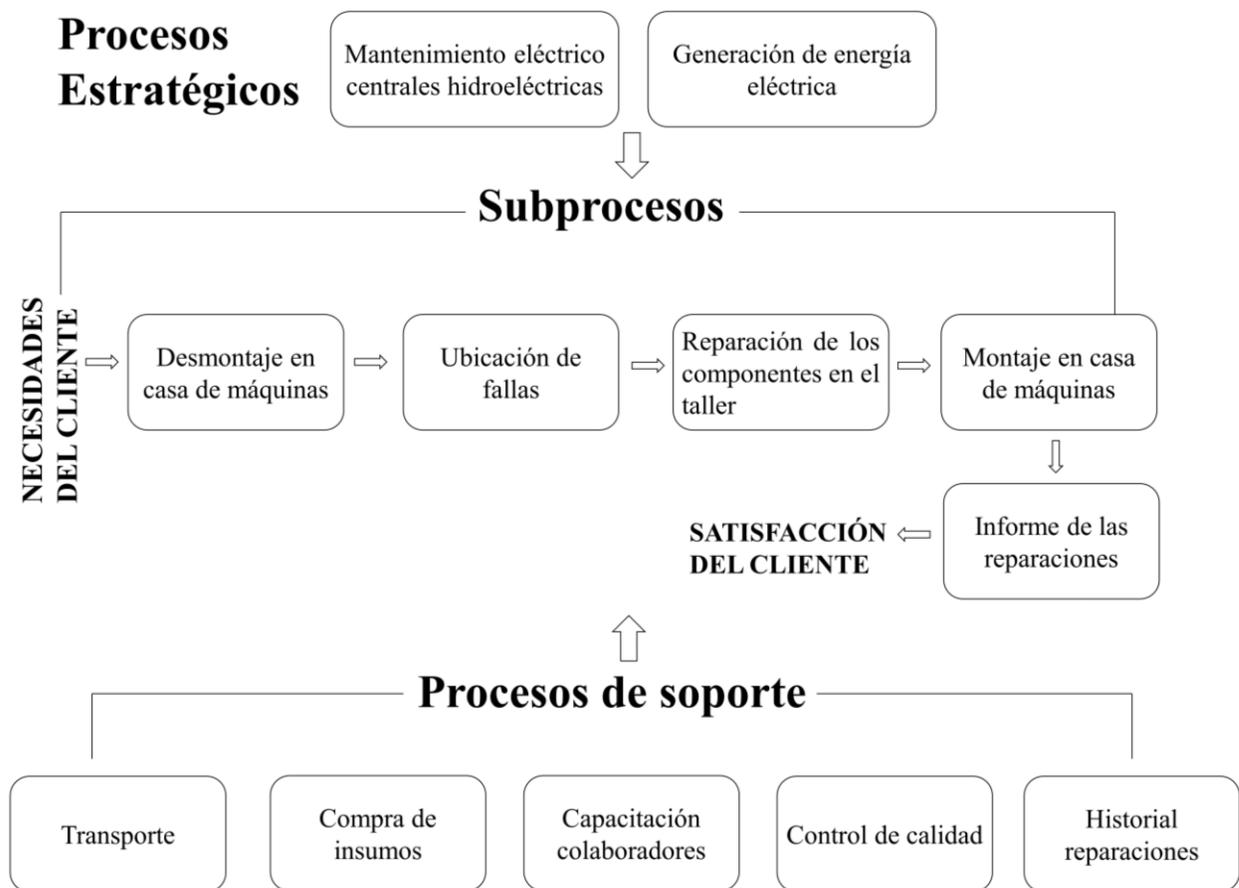


Es fundamental efectuar un mantenimiento eléctrico tanto preventivo como correctivo del generador de energía eléctrica y cumplir con todos los requerimientos de confiabilidad operativa que se requieren para la operación de producción de energía puesto que dichos procesos son estratégicos y claves para la organización ya que sin un mantenimiento correcto no se puede asegurar la operación. En este orden de ideas son varias las necesidades que tiene una central al momento de reparar un componente eléctrico: se requiere el desmontaje del componente en casa de máquinas, que se le ubiquen las respectivas fallas, se repare en el taller, se vuelva a montar el componente en casa de máquinas y que finalmente, se desarrolle y presente el informe del componente reparado con los hallazgos, procedimientos y pruebas ejecutadas; logrando así una satisfacción en la central porque desde los requerimientos eléctricos ya la máquina es entregada al resto del equipo para que entre eventualmente en operación.

Sin embargo, hay procesos ajenos a la reparación misma de los componentes eléctricos pero que si fallaran afectarían el resto de la cadena de proceso e impedirían y/o demorarían el mismo tales como: transporte, compra de insumos, capacitación a ayudantes, control de calidad (pruebas eléctricas) y el historial de los componentes (hoja de vida de los componentes) tal y como se presenta a continuación (**Figura 2 Mapa de procesos reparación de componentes eléctricos**).

Figura 2

Mapa de procesos reparación de componentes eléctricos



Luego de este análisis interno de la compañía, se procede a analizar también el entorno y se concluye que la compañía tiene un amplio conocimiento y experiencia entorno a la reparación de componentes eléctricos puesto que se han desarrollado diferentes técnicas y métodos, de manera sustentable y amparada en la buena relación con los diferentes proveedores que proporcionan los materiales necesarios para repararlos.

Es importante mencionar la adquisición de nuevas centrales de generación para la compañía, incrementando así la demanda de reparación de componentes eléctricos a mediano y largo plazo, que a su vez genera una mayor responsabilidad en materia de infraestructura tecnológica, estandarización, gestión del conocimiento y difusión de la importancia de este proceso dentro de la compañía.

A futuro será necesario hacerle frente a grandes desafíos como la infraestructura vial inestable, dificultades en la cadena logística internacional que causa demoras y aumentos en los costos de las materias primas necesarias para efectuar los trabajos de mantenimiento de los componentes eléctricos; así como el conflicto armado que puede presentarse en cualquier momento y que podría afectar la normal operación de las centrales y el acceso a mano de obra calificada y que cumpla con todos los requerimientos para apoyar las tareas de reparación de los componentes, así como se presenta en la siguiente matriz DOFA (**Figura 3 Matriz DOFA análisis estratégico del proceso de reparación de componentes eléctricos**).

Figura 3

Matriz DOFA análisis estratégico del proceso de reparación de componentes eléctricos

| | | AYUDAN A alcanzar el objetivo | DAÑINOS Para alcanzar el objetivo |
|---|----------------------|---|--|
| DE ORIGEN INTERNO (Atribuibles a la organización) | FORTALEZAS | <ul style="list-style-type: none"> • Amplio conocimiento • Experiencia • Técnicas y métodos • Buena relación con proveedores • Prácticas sustentables <p style="text-align: right;">F</p> | DEBILIDADES |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura tecnológica • Estandarización • Gestión del conocimiento • Difusión de la importancia dentro de la compañía <p style="text-align: right;">D</p> |
| DE ORIGEN EXTERNO (Atribuibles al entorno) | OPORTUNIDADES | <ul style="list-style-type: none"> • Expansión de la compañía • Demanda de reparación y mantenimiento • Adaptación a los requerimientos y normativa <p style="text-align: right;">O</p> | AMENAZAS |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura vial inestable • Dificultades en la cadena logística internacional • Aumento en costos de materias primas • Conflicto armado • Disponibilidad de mano de obra <p style="text-align: right;">A</p> |

4.1.2 Análisis de Riesgos Operacionales

Gracias al análisis interno y externo de la compañía y al hacer un reconocimiento del proceso de reparación de componentes eléctricos y a la filosofía de la empresa (valores, de ser y objetivo) se logran identificar los riesgos operacionales asociados a la operación del taller de reparación de componentes eléctricos y que al presentarse alguno de ellos podría verse afectado eventualmente el cumplimiento y calidad del mismo, por tanto se identifican los equipos responsables de mitigar y controlar dichos riesgos en la siguiente matriz (**Tabla 1 Riesgos operacionales taller de reparación de componentes eléctricos**).

Tabla 1

Riesgos operacionales taller de reparación de componentes eléctricos

| Riesgo | Equipo Responsable |
|--|---------------------------------|
| Procesos morfodinámicos en carreteras que impiden el libre tránsito hacia las Centrales Hidroeléctricas | Seguridad Privada |
| Eventos que alteren el orden público de las zonas aledañas a la Central Hidroeléctrica | Seguridad Privada |
| Interrupciones en la cadena de suministro | Abastecimiento |
| Incumplimiento en las entregas de los insumos necesarios para el funcionamiento del taller de reparación de componentes eléctricos | Abastecimiento |
| Falta de mecanismos de transferencia de conocimiento referente a la reparación de componentes eléctricos | Talento Humano |
| Evento SST en el desmontaje, montaje y reparación de los componentes eléctricos | Seguridad y Salud en el Trabajo |
| Errores en la reparación de los componentes eléctricos | Mantenimiento |
| Fallas en el cálculo del ciclo de vida útil de los componentes eléctricos | Gestión de Activos |
| Afectaciones al medio ambiente derivados de la reparación de los componentes eléctricos | Ambiental |

4.1.3 Planificación del Sistema Integrado de Gestión

Posterior al análisis de los riesgos operacionales y la planificación estratégica del taller de reparación de componentes eléctricos se comienza a estudiar la **Norma Técnica Colombiana (NTC) ISO 9001:2015** capítulo por capítulo (un total de 19 capítulos) y a elaborar una lista de chequeo para identificar qué falta, qué se debe profundizar y qué se debe mejorar con respecto a la gestión de la calidad del taller y también definir qué es relevante dentro de la política de calidad para la empresa y cuáles son los referentes normativos que pueden articularse al Sistema Integrado de Gestión. Se estudian los siguientes documentos normativos que rigen la normatividad externa e interna de la compañía y cómo analizarla: Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo, Sistema de Gestión Ambiental, Gestión Integral de Riesgos y Modelo Integral de Gestión Humana.

Este análisis de la normatividad y los diferentes sistemas de gestión de la empresa permiten definir cuál va a ser el alcance del Sistema Integrado de Gestión que se va a priorizar y cuál es la motivación principal del taller. A continuación, se presenta el alcance del Sistema Integrado de Gestión (SIG) del taller de reparación de componentes eléctricos de la Central Hidroeléctrica:

4.1.4 Alcance Sistema Integrado de Gestión (SIG)

¿Cuál es la política de calidad del taller de reparación de componentes eléctricos de la compañía? para responder a esta pregunta primero se debe analizar cuál es la motivación con el taller, qué valor agregado se espera generar y cuál es su meta específica. En este orden de ideas la motivación es la siguiente:

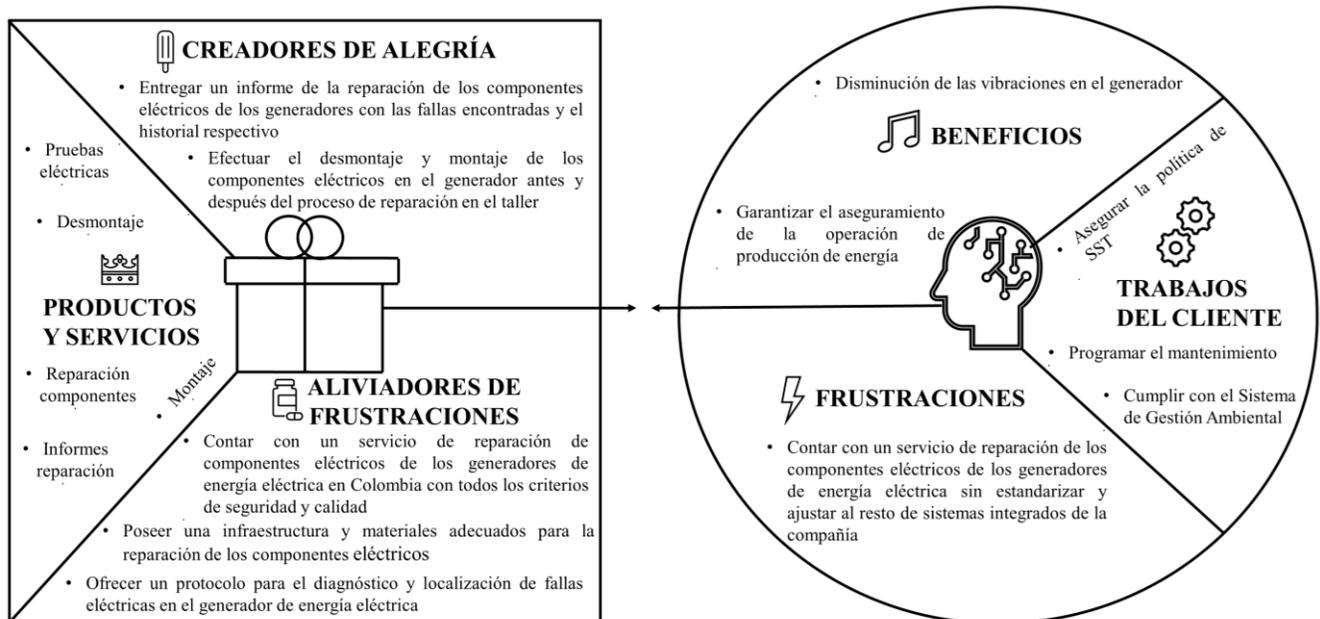
- **Motivación:** Garantizar el aseguramiento de la operación de las diferentes centrales de generación hidroeléctrica de la compañía a través del mantenimiento preventivo y correctivo de los componentes eléctricos del generador de energía eléctrica mediante la asignación de los recursos necesarios, la gestión de los riesgos y el mejoramiento continuo.

- **Valor agregado:** Ofrecer un protocolo para el diagnóstico y localización de fallas en los componentes eléctricos del generador de energía eléctrica al efectuar el desmontaje y montaje antes y después del proceso de reparación, para finalmente entregar un informe de la reparación con la ubicación de las fallas encontradas y el historial respectivo logrando así la disminución de las vibraciones en el generador y garantizando el aseguramiento de la operación de producción de energía de la compañía.
- **Meta:** Contar con un servicio de reparación de componentes eléctricos en Colombia con todos los criterios de seguridad y calidad al poseer una metodología, infraestructura y materiales adecuados para la reparación de los componentes que asegure la política de Seguridad y Salud en el Trabajo y la Gestión Ambiental por medio de la mitigación y control de los riesgos operacionales.

Todo este análisis para definir el alcance del Sistema Integrado de Gestión (SIG) se resume en el siguiente lienzo de la propuesta de valor (**Figura 4 Lienzo propuesta de valor de reparación de componentes eléctricos**).

Figura 4

Lienzo propuesta de valor reparación de componentes eléctricos



4.1.5 Ajuste del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC)

A partir de la Planeación Estratégica, el Análisis de Riesgos Operacionales y la definición del Alcance del Sistema Integrado de Gestión, se procede a elaborar una bitácora de los capítulos de la **NTC ISO 9001:2015** a aplicar con los aspectos a profundizar y las respectivas herramientas a desarrollar, que eventualmente podrán mitigar y/o controlar los riesgos operacionales desde la Gestión de la Calidad (SGC) y que a su vez estarán integrados con el resto de Sistemas de Gestión de la organización.

Los capítulos priorizados con sus aspectos y herramientas respectivas son los siguientes (**Tabla 2 Desarrollo e integración del Sistema de Gestión de la Calidad**):

Tabla 2

Ajuste e integración del Sistema de Gestión de la Calidad

| Capítulos | Aspectos | Herramientas* |
|---|---|--|
| 1. Contexto de la organización | 1.1 Comprensión de la organización y de su contexto 1.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas 1.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de la calidad | <ul style="list-style-type: none"> • Matriz DOFA • Mapa de procesos |
| 2. Sistema de gestión de la calidad y sus procesos | 2.1 Entradas requeridas y salidas esperadas de los procesos 2.2 Secuencia e interacción de los procesos 2.3 Seguimiento, mediciones e indicadores de desempeño 2.4 Recursos necesarios y disponibilidad 2.5 Responsabilidades y autoridades de los procesos | <ul style="list-style-type: none"> • Matriz de roles y responsabilidades • Diagrama de flujo del proceso • SIPOC |
| 3. Liderazgo | 3.2 Enfoque al cliente | Lienzo propuesta de valor |
| 6. Planificación | 6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades | <ul style="list-style-type: none"> • Matriz de riesgos y peligros-SST • Matriz de riesgos operacionales • Matriz de riesgos ambientales |

* Algunas de las herramientas ya fueron presentadas en la sección de Planeación Estratégica.

Nota. Tabla elaborada a partir de la información de la Norma Técnica Colombiana ISO 9001:2015.

Al ajustar el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) y planificar el Sistema Integrado de Gestión (SIG) se tiene la noción de la importancia del taller para la compañía, su razón de ser, su utilidad, cuáles son sus riesgos y quiénes están a cargo, así como las entradas y salidas del proceso, y cuáles son los criterios necesarios con base a la **NTC ISO 9001:2015** para cumplir con la política de calidad. Por tanto, se presenta la siguiente propuesta de Sistema Integrado de Gestión (SIG) para el taller de reparación de componentes eléctricos:

4.1.6 Propuesta del Sistema Integrado de Gestión (SIG)

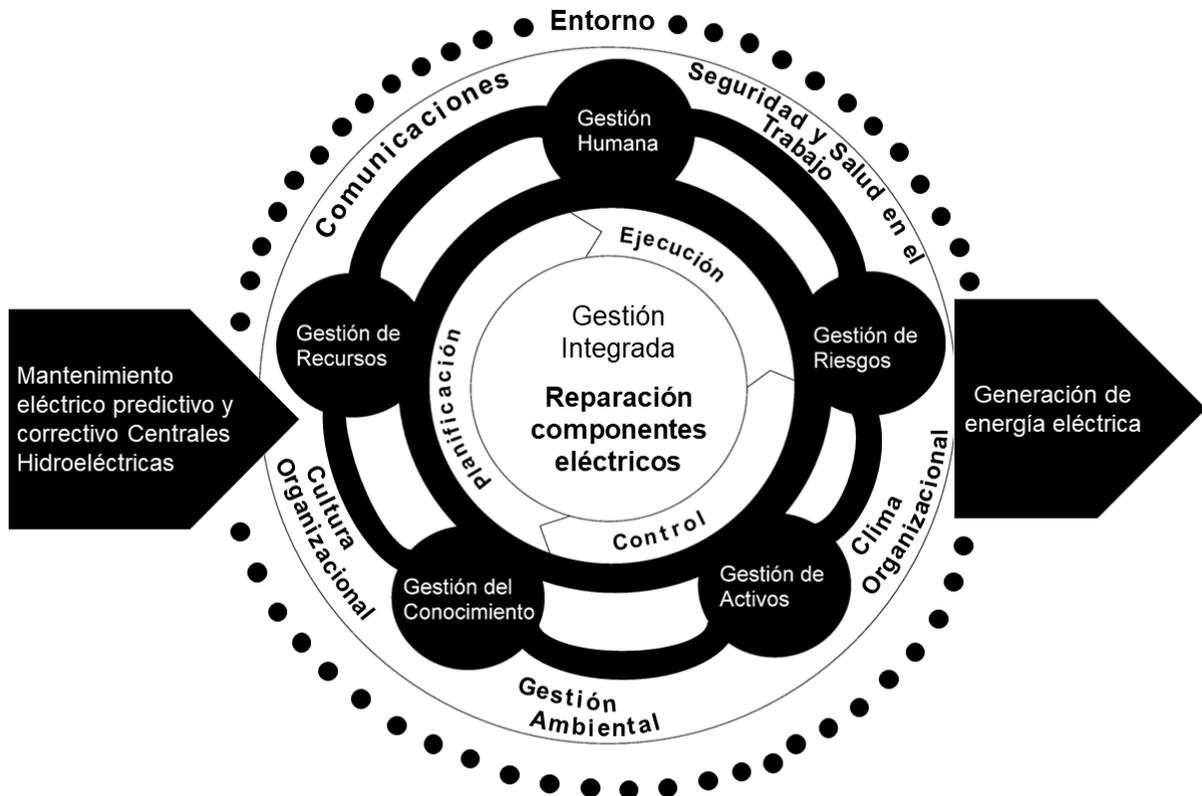
El Sistema Integrado de Gestión del taller de reparación de componentes eléctricos tiene como objeto minimizar, mitigar y/o controlar los diferentes riesgos operacionales para cumplir con la política de calidad, en él se toman como referente al Sistema de Gestión Ambiental y el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo y al Modelo Integral de Gestión Humana de la compañía que complementan y dan un marco de trabajo para cumplir con la política de HSSE (Salud, protección, seguridad y medio ambiente) que es un pilar fundamental dentro de la organización, por tanto, el taller de reparación de componentes eléctricos debe asegurar su cumplimiento en todos los aspectos y en todas las dimensiones.

4.1.6.1 Modelo de Gestión Integrada

Para el diseño del Sistema Integrado de Gestión (SIG) se hace necesario definir cómo se va a implementar, cuáles son las entradas y salidas, quiénes están a cargo, qué procesos van a permitir cumplir con la política de calidad y a su vez con la mitigación de los riesgos, qué se debe planificar, ejecutar y controlar, identificar y a su vez reconocer que hay procesos y/o actividades que están implícitos pero que son claves para el logro de los objetivos del taller de reparación de componentes eléctricos, por tanto, se presenta el siguiente Modelo de Gestión Integrada (**Figura 5**).

Figura 5

Modelo de Gestión Integrada



Nota. Adaptado del Modelo Integral de Gestión Humana de la compañía.

El Modelo de Gestión Integrada (**Figura 5**) es la estructura y los recursos que posibilitan el funcionamiento del Sistema de Gestión Integrada del taller de reparación de componentes eléctricos de la siguiente manera:

- **Núcleo:** Planificación, Ejecución y Control de la reparación de los componentes eléctricos.
- **Entradas:** Mantenimiento eléctrico preventivo y correctivo de las diferentes Centrales Hidroeléctricas de la compañía.
- **Subprocesos:** Para el correcto funcionamiento del taller se hace imprescindible la gestión humana, de riesgos y activos, a su vez gerenciar el conocimiento y garantizar los recursos electromecánicos, químicos y de transporte.
- **Actividades transversales:** Para la gestión del taller se hace primordial el flujo a nivel organizacional de la cultura, el clima, las comunicaciones y la Seguridad y Salud en el Trabajo.
- **Salidas:** Aseguramiento de la operación de producción de energía al disminuir las vibraciones del generador reparado.

El cumplimiento y la ejecución de este modelo busca que cada proceso del taller de reparación de componentes eléctricos se haga de forma horizontal y ordenada, detallando de forma clara quién y cómo promueve el Aseguramiento de la Calidad, la Gestión Ambiental y la Seguridad y Salud en el Trabajo. En la medida en que cada una de las áreas de la empresa cumpla con los requerimientos en el momento y forma adecuada se logrará con el objetivo primordial que es el cumplimiento de la política de calidad del taller, la cual es garantizar el aseguramiento de la operación de las diferentes centrales de generación hidroeléctrica de la compañía a través del mantenimiento preventivo y correctivo de los componentes eléctricos mediante la asignación de los recursos necesarios, la gestión de los riesgos y el mejoramiento continuo.

4.1.6.2 Salvedades del Sistema Integrado de Gestión (SIG)

La propuesta de Sistema Integrado de Gestión (SIG) busca desarrollar los requisitos mínimos de calidad, aspectos ambientales y de seguridad y salud en el trabajo para tener un taller de reparación de componentes eléctricos en funcionamiento en el Sector de Generación de Energía Eléctrica de Colombia. No se pretende alcanzar alguna certificación a nivel nacional y/o internacional por parte de algún ente en materia de calidad, ambiente o seguridad y salud en el trabajo para el taller.

• **Justificación de No Certificación:** Debido a que la compañía genera confianza en el mercado y en los consumidores por medio del cumplimiento de los despachos de energía eléctrica y su productividad se mide por el cumplimiento y el número de desvíos (cantidad de tiempo de energía no despachada), no es fundamental una certificación con base a la Organización Internacional de Normalización (ISO), por tanto, solo se aplican los capítulos de la Norma ISO 9001:2015 para mitigar y/o controlar los riesgos operacionales y se articulan a los demás sistemas de gestión de la compañía, para contar así con un taller que cumpla con los estándares de calidad al asegurar las reparaciones en el momento adecuado y de la forma adecuada respecto a la política de HSSE (Salud, protección, seguridad y medio ambiente).

4.1.6.3 Aplicación y evaluación del Sistema Integrado de Gestión

A continuación, se presentan en la (Tabla 3) los objetivos del Sistema Integrado de Gestión del taller de reparación de componentes eléctricos y la manera en que serán medidos y evaluados por medio de los siguientes indicadores e iniciativas:

Tabla 3

Aplicación y evaluación del Sistema Integrado de Gestión

| Objetivos del Sistema Integrado de Gestión | Indicadores y/o iniciativas |
|--|--|
| Garantizar el aseguramiento de la operación de las diferentes centrales de generación hidroeléctrica de la compañía a través del mantenimiento preventivo y correctivo de los componentes eléctricos del generador | Resultados pruebas eléctricas |
| | Entrega oportuna de la máquina a operación |
| | Resultados prueba de vibraciones con ultrasonido |
| | Índice de falla de componentes reparados |
| Ofrecer un protocolo para el diagnóstico y localización de fallas en los componentes eléctricos del generador de energía eléctrica al efectuar el desmontaje y montaje antes y después del proceso de reparación | Número de centrales atendidas |
| | Número de componentes reparados |
| Contar con un servicio de reparación de componentes eléctricos en Colombia con todos los criterios de seguridad y calidad | Eventos de SST asociados a la reparación de componentes eléctricos |
| | Eventos de carácter ambiental asociados a la reparación de componentes eléctricos |
| | Aplicación de la Gestión Integral de Riesgos de la compañía al proceso de reparación de componentes eléctricos |
| | Aplicación del Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo al proceso de reparación de componentes eléctricos |
| | Aplicación Sistema de Gestión Ambiental al proceso de reparación de componentes eléctricos |

4.1.6.4 Veeduría y cumplimiento del Sistema Integrado de Gestión

Periódicamente se realizan grupos primarios en cada una de las centrales para analizar y evaluar los requerimientos y sucesos en materia de Administración de Operación y Mantenimiento, a cargo del jefe mayor de la Central, personal administrativo, de operación y mantenimiento. A su vez, mes a mes se elabora el Informe de Mantenimiento y Confiabilidad de las máquinas y también las reuniones de cada Central para hablar sobre temas generales, además de que se establecen unos roles determinados para hacer veeduría y control del Sistema Integrado de Gestión tal y como se detalla en la (Tabla 4).

Tabla 4

Veeduría y cumplimiento del Sistema Integrado de Gestión

| |
|--|
| Representante del Sistema Integrado de Gestión: Gerente de Mantenimiento |
| Administrador del Sistema Integrado de Gestión: Jefe de la Central Hidroeléctrica donde esté ubicado el taller de reparación de componentes |
| Responsable del cumplimiento del Sistema Integrado de Gestión: Jefe de Mantenimiento (Electricista) de la Central |
| Veeduría y Auditoría del cumplimiento del Sistema Integrado de Gestión: <ul style="list-style-type: none"> - Jefe Administrativo de la Central - Profesional Seguridad y Salud en el Trabajo de la Central - Profesional Ambiental de la Central |

4.1.6.5 Responsabilidades para el funcionamiento del Sistema Integrado de Gestión

- **Gerencia de Mantenimiento:** Destinar el presupuesto y los recursos necesarios para el correcto funcionamiento del taller de reparación de componentes eléctricos.
- **Jefes de Centrales de Generación de Energía Eléctrica:** Velar por el cumplimiento del presupuesto y los recursos necesarios para el correcto funcionamiento del taller de reparación de componentes eléctricos y hacer veeduría y control de la gestión de las otras de gerencias de la compañía que están asociadas a la operación del taller.

- **De los Jefes de Mantenimiento, Personal Administrativo, Profesionales SST y Ambientales:** Controlar el uso de los recursos, asegurar el cumplimiento de las actividades del taller y la aplicación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Sistema de Gestión Ambiental y la Gestión Integral de Riesgos.
- **Del resto del personal de la empresa y contratistas:** Cumplir con las actividades asignadas en el momento y la manera adecuada asegurándose de hacerlo con todos los requerimientos de la política de HSSE.

4.1.6.6 Metodología de Aplicación del Sistema Integrado de Gestión

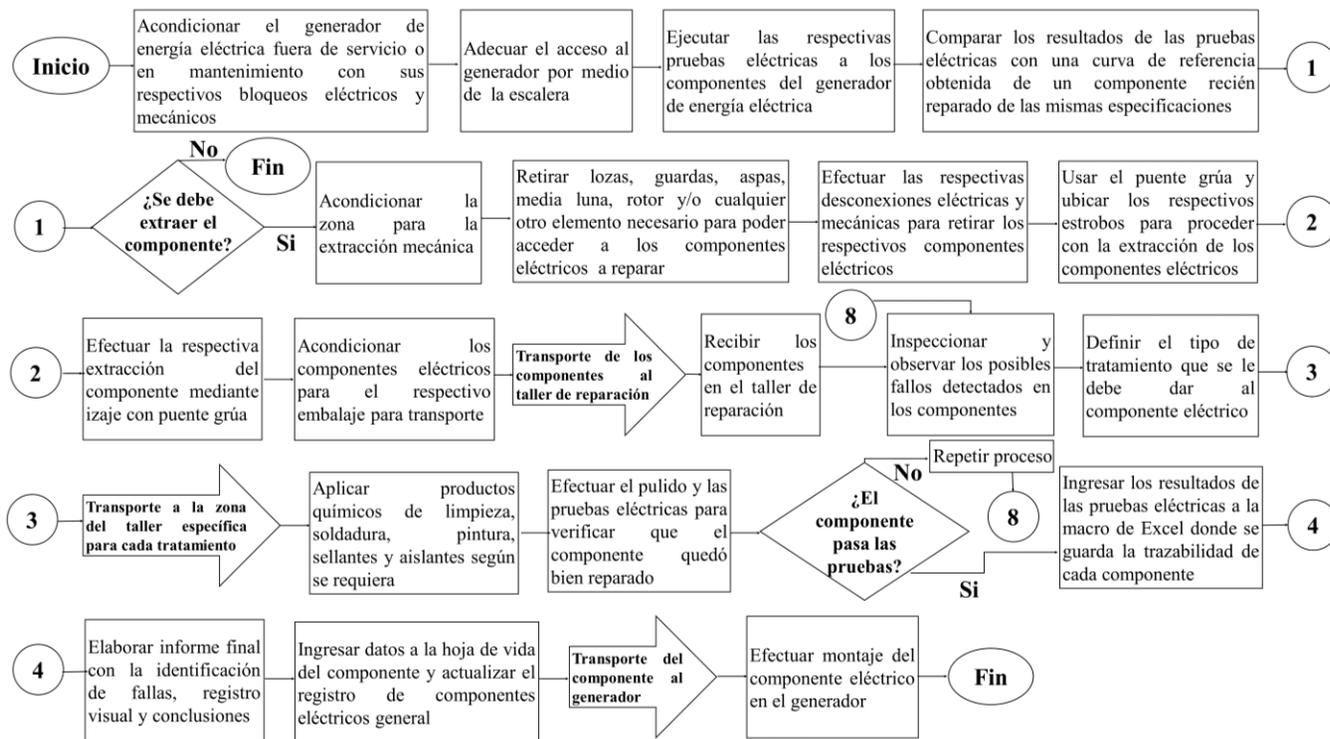
Una vez definido el alcance, los criterios de aplicación, los objetivos, indicadores e iniciativas, así como la veeduría y el cumplimiento del Sistema Integrado de Gestión se procede con la definición de los instrumentos que permitirán el aseguramiento de la calidad y la mitigación y/o barreras de control para cada uno de los riesgos que pueden afectar el cumplimiento de la política de calidad del taller:

4.1.6.6.1 Documentación y flujo del proceso

Se desarrolla el Diagrama de flujo del proceso como parte de la documentación del método que permitirá conocer las actividades y el paso a paso para la reparación de los componentes eléctricos, este es necesario para la transferencia del conocimiento y servirá como herramienta a la hora de capacitar a los nuevos electricistas del área de mantenimiento de la compañía, así como también a los ayudantes del respectivo Contratista que ejecutarán las tareas de mantenimiento eléctrico y a su vez desmontarán, repararán y harán el montaje nuevamente de los componentes eléctricos. Como parte del Sistema Integrado de Gestión también es necesario contar con la documentación del método que será revisado por profesionales en algún momento dentro de auditorías internas como externas, permitiendo conocer las entradas requeridas, las salidas y la secuencia e interacción de los procesos como se detalla en la **(Figura 6 Diagrama de flujo del proceso)**.

Figura 6

Diagrama de flujo del proceso

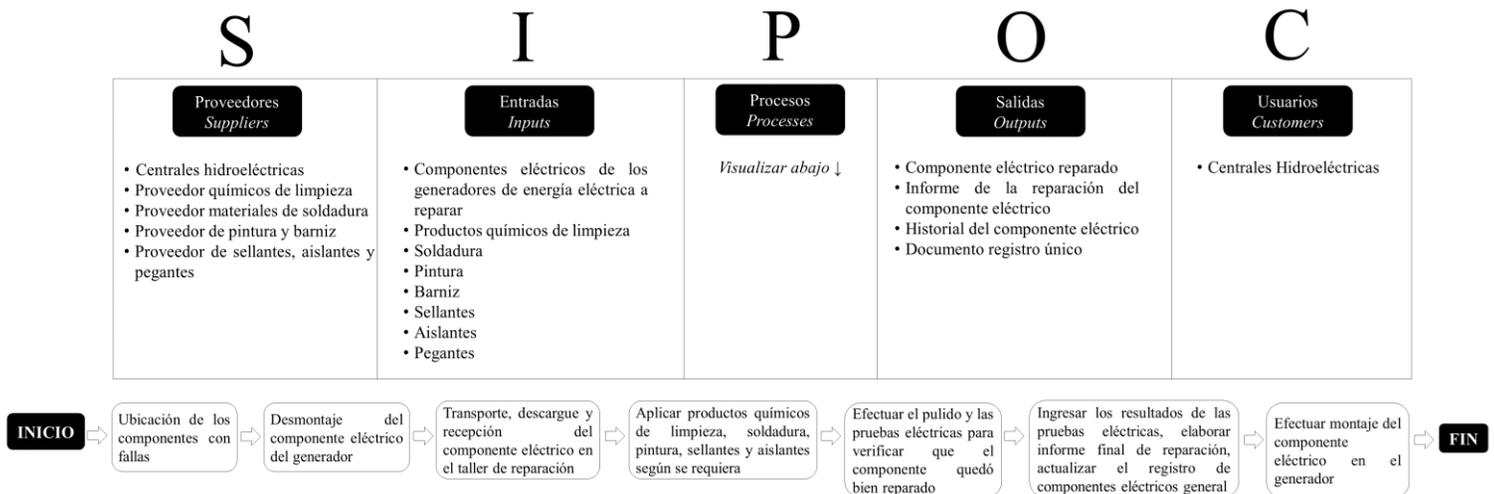


4.1.6.6.2 Diagrama SIPOC

El Diagrama SIPOC: Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Procesos (Process), Salidas (Outputs) y Clientes (Customers) permite establecer las actividades claves del proceso de reparación de componentes eléctricos identificando desde el inicio los proveedores que en este caso son cada una de las Centrales Hidroeléctricas de la compañía que disponen de la entrada fundamental para ejecutar este proceso que es el componente eléctrico que va a ser reparado, así como las empresas que abastecen las demás entradas que son los insumos para reparar llevar a cabo las reparaciones, así mismo se describen los procesos claves para la reparación y las posteriores salidas que serán el componente reparado con sus respectivos informes y herramientas para la trazabilidad; finalmente se identifican los usuarios que son cada una de las Centrales Hidroeléctricas de la compañía que eventualmente requerirán la reparación. Este diagrama facilita la toma de decisiones al enfocarse en lo crucial (lo que genera valor) de forma resumida, definiendo los puntos críticos que pueden interrumpir el correcto flujo de la reparación desde la fase de planificación de las actividades hasta que se ejecutan las tareas y finalmente este análisis SIPOC (Figura 7) ayuda a eliminar las tareas que no agregan valor al proceso.

Figura 7

Diagrama SIPOC



4.1.6.6.3 Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales

La planificación de las actividades para la reparación de los componentes eléctricos es fundamental, ya que se necesita definir previamente la fecha en que va a ser extraído el componente del generador para que sea reparado, esto a su vez, requiere que el generador de energía eléctrica se encuentre parado tanto para extraer el componente como para volverlo a anclar, pero este anclaje requiere que se ejecute todo el proceso de reparación que involucra no solo la parte técnica del taller, sino también transporte, compra de insumos, capacitación colaboradores, control de calidad (pruebas eléctricas) y la trazabilidad del proceso; todos y cada uno de estos aspectos son fundamentales para cumplir con la política de calidad del Sistema Integrado de Gestión que es la de desmontar, reparar y montar nuevamente el componente en los tiempos planteados cumpliendo con los requerimientos de Seguridad y Salud en el Trabajo y la Gestión Ambiental pero para este cumplimiento se requiere de la mitigación y control de los riesgos, por tal razón se elabora la Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales para identificar y describir los riesgos asociados a cada una de las actividades del taller, cuál es el tipo de riesgos, su impacto, nivel, probabilidad, consecuencias y a su vez cuál va a ser la planeación estratégica para minimizar y/o controlar dichos riesgos elaborando los planes de mitigación (barreras) y detallando el Equipo responsable de asesorar y/o actuar en cada uno de los posibles escenarios a los que se podrían enfrentar las actividades del taller, tal y como se detalla en la **(Tabla 5)**.

Tabla 5

Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales

| Ítem | Riesgo | Descripción | Consecuencia | Tipo de Riesgo | Probabilidad | Impacto | Nivel | Barreras de mitigación* | Equipo Responsable |
|------|---|---|---|---------------------------|--------------|----------|----------|---|--------------------|
| 1 | Procesos morfodinámicos en carreteras que impiden el libre tránsito hacia las Centrales Hidroeléctricas | Derrumbes, pérdida de banca y/o accidentes viales que impidan el libre acceso a la Central Hidroeléctrica involucrada en la reparación del componente eléctrico | Incapacidad para llevar a cabo las reparaciones de los componentes y/o completar los envíos de los componentes hacia las centrales y efectuar su respectivo montaje | Seguridad Vial | Frecuente | Grave | Alto | <ul style="list-style-type: none"> Matriz de rutas con vías alternas Uso de otros medios de transporte | Talento Humano |
| 2 | Eventos que alteren el orden público de las zonas aledañas a la Central Hidroeléctrica | Actos malintencionados de terceros que pueden afectar la seguridad de las personas, la infraestructura y la viabilidad de las operaciones | Incapacidad para llevar a cabo las reparaciones de los componentes y/o completar los envíos hacia las centrales y efectuar su respectivo montaje | Seguridad Física | Ocasional | Crítico | Moderado | <ul style="list-style-type: none"> Convenio con las fuerzas armadas Circuito cerrado de televisión Cerramiento perimetral Esquema de vigilancia | Talento Humano |
| 3 | Interrupciones en la cadena de suministro | Demoras en despachos y recepción de pedidos de proveedores debido a circunstancias externas | Falta de recursos para poder ejecutar las tareas de reparación en los componentes eléctricos | Abastecimiento de insumos | Ocasional | Moderado | Bajo | <ul style="list-style-type: none"> Planificación de la gestión de compras Contar con un operador logístico tercerizado Efectuar una buena gestión de inventarios Stock de seguridad | Financiero |

*Herramientas para mitigar y/o controlar los riesgos que se sugieren desarrollar a futuro para el taller.

| Ítem | Riesgo | Descripción | Consecuencia | Tipo de Riesgo | Probabilidad | Impacto | Nivel | Barreras mitigación* | de | Equipo Responsable |
|------|--|---|--|---------------------------------|--------------|---------|----------|---|----|--------------------|
| 4 | Falta de mecanismos de transferencia de conocimiento referente a la reparación de los componentes eléctricos | Pérdida de conocimientos y experticia dentro del personal que apoya la reparación de los componentes eléctricos puesto que las personas que dominan el tema llegan a la jubilación y/o dan por finalizado su contrato con la compañía y no compartieron sus saberes | Falta de recurso humano con experiencia y capacidades técnicas para apoyar el ciclo completo de reparación de componentes eléctricos | Gestión del Conocimiento | Periódica | Grave | Alto | <ul style="list-style-type: none"> Plan de capacitaciones Política de Gestión del Conocimiento | | Talento Humano |
| 5 | Eventos SST en el desmontaje, montaje y reparación de los componentes eléctricos | Afectaciones a la salud e integridad física de las personas que apoyan las maniobras de la reparación de los componentes | Muerte, incapacidad total, parcial y/o temporal de la persona | Seguridad y Salud en el Trabajo | Ocasional | Crítico | Moderado | <ul style="list-style-type: none"> Uso de guías de mantenimiento Planificación diaria del trabajo Elementos de Protección Personal (EPP) | | Talento Humano |
| 6 | Errores en la reparación de los componentes eléctricos | Error accidental y/o sistemático dentro del desmontaje, montaje, pintado, pulido y aplicación de sellante y aislante en el componente | Reproceso para corregir el error con pérdidas de recursos y demoras en la entrega del componente | Mantenimiento | Ocasional | Crítico | Moderado | <ul style="list-style-type: none"> Control de calidad de Pruebas eléctricas | | Mantenimiento |
| 7 | Fallas en el cálculo del ciclo de vida útil del componente | Falla imprevista del componente y no se cuenta con planes para parar el generador de energía eléctrica | Disparo y/o funcionamiento anormal de la máquina por la presencia de vibraciones | Mantenimiento | Ocasional | Grave | Moderado | <ul style="list-style-type: none"> Análisis de desempeño de equipos (RPN) Análisis de criticidad de activos | | Gestión de Activos |
| 8 | Afectaciones al medio ambiente derivados de la reparación de los componentes eléctricos | Accidentes y/o eventos con sustancias químicas o elementos del taller de reparación de componentes eléctricos que pueden generar afectaciones al medio ambiente | Sanciones legales, contaminación del medio ambiente y/o pérdida de biodiversidad | Ambiental | Ocasional | Crítico | Moderado | <ul style="list-style-type: none"> Plan de manejo ambiental | | Ambiental |

*Herramientas para mitigar y/o controlar los riesgos que se sugieren desarrollar a futuro para el taller.

4.1.6.6.4 Matriz de Riesgos y Peligros (Seguridad y Salud en el Trabajo)

La aplicación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo es fundamental dentro de las operaciones de reparación de los componentes eléctricos, ya que la calidad no es solamente entregar un componente en buen estado en el momento y lugar adecuado, sino que esto traspassa a la elaboración de un producto final con todos los requerimientos legales, sociales, ambientales y de seguridad. Dicho esto, uno de los riesgos operacionales descritos en este Sistema Integrado de Gestión son los posibles eventos SST (Seguridad y Salud en el Trabajo) detallados en la **(Tabla 5)** y que pueden presentarse durante en el desmontaje, montaje y reparación de los componentes eléctricos ya sea en forma de accidentes o incidentes que ponen en riesgo la calidad del servicio prestado; ya en la **Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales** del numeral **(4.1.6.5.3)** se plantea que un plan de mitigación y/o barrera o mecanismo de control que es la Matriz de Riesgos y Peligros SST.

A partir de la idea anterior, se diligencia la Matriz de Riesgos y Peligros SST describiendo cada una de las actividades de la reparación de los componentes eléctricos, quién las ejecuta (en este caso el electricista) definiendo si es un peligro de carácter mecánico, químico, físico y/o de carga física, así mismo se detalla la descripción del riesgo con sus posibles consecuencias seguido de sus barreras de control, protección y soporte. Así mismo, se estima el nivel de riesgo con su probabilidad y severidad, para finalmente establecer el mejoramiento a los controles. Luego de la formulación de la matriz se procede a su revisión con la Profesional de Seguridad y Salud en el Trabajo de la Central Hidroeléctrica, con quien se hacen los ajustes finales y se corrigen detalles técnicos con base a sus recomendaciones y se presentan en la **(Tabla 6 Matriz de Riesgos y Peligros SST)**.

Tabla 6

Matriz de Riesgos y Peligros SST

| Ítem | Actividad* | Identificación del peligro | | | Barreras existentes | | | Estimación del nivel de riesgo | | | Mejoramiento de controles | |
|------|---------------------------------|--|---|---|---|---|---|--------------------------------|-----------|-----------------|--|--|
| | | Peligro | Descripción | Posibles consecuencias | Barreras de control | Barreras de protección | Barreras de soporte | Probabilidad | Severidad | Nivel de riesgo | Señalización/ advertencia y/o controles administrativos | Protección personal |
| 1 | Inspección del sitio de trabajo | Biológico: Contacto con animales o microorganismos | Actividades de inspección al sitio de trabajo que impliquen contacto con animales y/o microorganismos | <ul style="list-style-type: none"> •Picaduras •Mordeduras de animales •Infecciones | No se identifica | Botas de seguridad, guantes de látex y camisa manga larga | <ul style="list-style-type: none"> • Personal capacitado en autocuidado. • Atención del personal de salud. • Capacitación en prevención de picaduras y mordeduras | MEDIA | MEDIA | MODERADO | Programa de gestión para la prevención del riesgo biológico. | No se identifica |
| 2 | Limpieza con implementos | Mecánico: Laceración por uso de herramientas cortopunzantes | Laceraciones o cortaduras por manipulación de elementos cortopunzantes al momento de pulir los componentes eléctricos | <ul style="list-style-type: none"> • Laceraciones • Cortaduras • Sangrado • Heridas profundas | No se identifica | Uso de equipo de protección personal (gafas). Demarcación señalización. | <ul style="list-style-type: none"> • Inspección de áreas. • Procedimiento para el uso del equipo de protección personal. • Guía de mantenimiento. | MEDIA | MEDIA | MODERADO | Continuar con la implementación del procedimiento para el uso del equipo de protección personal | Continuar con el uso de los elementos de protección personal(gafas). |
| | | Carga física: carga dinámica por movimientos repetitivos | Trabajos de intervención de los componentes eléctricos utilizando herramientas manuales | Lesiones osteomusculares, trauma acumulativo, espasmo muscular | Uso de llaves de torque y herramientas neumáticas | Herramientas adecuadas y en buenas condiciones. | <ul style="list-style-type: none"> • Atender las recomendaciones constantes de buenas prácticas ergonómicas. • Exámenes médicos periódicos. • Pausas activas. • Examen médico osteomuscular | BAJA | MEDIA | BAJO | Continuar con la sensibilización el personal en higiene postural y pausas activas. Seguir implementando el programa de gestión para el control de riesgo ergonómico. Realizar inspecciones de puestos de trabajo | No se identifica |

Nota. Adaptado del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo de la compañía

* Todas las actividades son rutinarias y son efectuadas por los electricistas. No se encontró eliminación o sustitución de las actividades que se desarrollan.

| Ítem | Actividad* | Peligro | Descripción | Posibles consecuencias | Barreras de control | Barreras de protección | Barreras de soporte | Probabilidad | Severidad | Nivel de riesgo | Señalización/ advertencia y/o controles administrativos | Protección personal |
|------|--|---|--|---|---|--|--|--------------|-----------|-----------------|--|---|
| 3 | Pintado de los componentes | Químicos: Gases y vapores | Inhalación de gases y vapores químicos provenientes de la pintura durante el pintado de los componentes eléctricos | Irritación de los ojos, nariz y garganta; dolor de cabeza, mareos, depresión del sistema nervioso central; dermatitis | Elementos de protección personal (gafas, careta, delantal, guantes de nitrilo,). Delimitación de áreas de trabajo. | Herramientas adecuadas y en buenas condiciones. | Inspección de áreas. Procedimiento para el uso del equipo de protección personal. Guía de mantenimiento. | MEDIA | MEDIA | MODERADO | Continuar con la implementación del procedimiento para el uso del equipo de protección personal | Continuar con el uso de los elementos de protección personal(gafas). |
| 4 | Transporte de carga con elevadora eléctrica | Mecánico: Izaje y cargas suspendidas | Movimiento de cargas de alto peso y dimensiones mediante uso de elevadora eléctrica y otros tipos de mecanismo de izaje | <ul style="list-style-type: none"> • Contusión/ traumatismo • Aplastamiento • Muerte | No se identifica | Botas con puntera, marcación sitio de trabajo y eslingas certificadas | Capacitación en izaje de carga Capacitación en identificación de peligros y riesgos. | BAJA | MEDIA | BAJO | Continuar con la sensibilización al personal en higiene postural y pausas activas. Programa de gestión para el control de riesgo ergonómico. Inspección de puesto de trabajo | No se identifica |
| 5 | Transporte de los componentes eléctricos con monta carga | Mecánico: Izaje y cargas suspendidas | Movimiento de carga de alto peso y dimensiones mediante uso de monta carga y otros tipos de mecanismo de izaje | <ul style="list-style-type: none"> • Contusión/ traumatismo • Aplastamiento • Muerte | No se identifica | Botas con puntera, marcación sitio de trabajo y eslingas certificadas | Capacitación en trabajo seguro Capacitación en identificación de peligros y riesgos. | BAJA | MEDIA | BAJO | Continuar realizando mantenimientos e inspecciones preoperacionales al monta carga | Continuar con el uso de los elementos de protección personal (casco, guantes, botas con puntera de seguridad) |
| 6 | Aporte de soldadura | Químicos: Gases y vapores Químico: Radiaciones por aplicación de soldadura Físico: Quemaduras por aporte de soldadura | - Inhalación de gases y vapores químicos provenientes de la soldadura. - Luz intensa asociada con el soldar al arco puede causar daños a la retina del ojo. - Salpicaduras al soldar el revestimiento de los componentes | Irritación de los ojos, nariz y garganta; dolor de cabeza, mareos, depresión del sistema nervioso central; dermatitis Daños oculares Quemaduras | Uso mamparas y de elementos EPP (gafas, careta, delantal, guantes de nitrilo, careta y tapabocas). Delimitación de áreas de trabajo. | Herramientas adecuadas y en buenas condiciones. Elementos de protección personal (gafas y careta). Delimitación de áreas de trabajo. | Procedimiento para el uso del equipo de protección personal. Guía de mantenimiento. Procedimiento para trabajos en caliente. | MEDIA | MEDIA | MODERADO | Continuar con la implementación del procedimiento para el uso del equipo de protección personal | Continuar con el uso de los elementos de protección personal (gafas, careta y tapabocas). |

Nota. Adaptado del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo de la compañía

* Todas las actividades son rutinarias y son efectuadas por los electricistas. No se encontró eliminación o sustitución de las actividades que se desarrollan.

4.1.6.6.5 Matriz Ambiental

El Sistema de Gestión Ambiental es transversal a cada una de las áreas de la compañía, y así como el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo es fundamental dentro de las operaciones de reparación de componentes eléctricos, también lo es la mitigación de riesgos ambientales para cumplir conjuntamente la política HSSE (Salud, Seguridad, Protección y Medio ambiente) durante en el desmontaje, montaje y reparación de los componentes. En el Análisis de Riesgos Operacionales se plantea el riesgo de afectaciones al medio ambiente derivados de las actividades de reparación de los componentes que se encuentra en la **Matriz de Evaluación de Riesgos Operacionales** del numeral (4.1.6.5.3) y para cumplir con los objetivos de la política de calidad y la HSSE se diligencia la Matriz Ambiental que permite reconocer los riesgos a profundidad de cada una de las actividades de la reparación y a su vez dar una idea de plan de manejo ambiental fundamentado en las barreras de control, mitigación y soporte, discriminando el impacto y riesgo respectivo. Estos mecanismos de control, mitigación y soporte se desglosan del Sistema de Gestión Ambiental de la compañía que a su vez apuntan a que las reparaciones se hagan con los criterios que exige la **Norma Técnica Colombiana ISO 14001:2015**, que da un marco a la organización con el cual salvaguardar el medio ambiente y dar un manejo a las condiciones cambiantes del entorno.

En conjunto con el Profesional Ambiental de la Central Hidroeléctrica, se desarrolla esta matriz (**Tabla 7**) que servirá de mecanismo para controlar e identificar los riesgos ambientales a la hora de ejecutar cada una de las tareas del taller y que también servirá de soporte para auditorías tanto internas como externas en un futuro.

Tabla 7

Matriz Ambiental

| Aspecto | Impacto/ Riesgo Ambiental | Calificación del riesgo | Barreras | | |
|---|---|-------------------------|--|--|--|
| | | | Control | Protección | Soporte |
| Movilización del personal en vehículos livianos | Ruido | Bajo | No se identifica barreras de control | Mantenimiento correctivo y preventivo de los vehículos Inspecciones | Certificado Tecnicomecánica |
| | Contaminación del aire | Bajo | No se identifica barreras de control | Cambio de aceite Mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos | Certificado de gases y Tecnicomecánica Registro de los mantenimientos del vehículo. |
| Limpieza | Contaminación de suelo o agua por generación de materiales impregnados con sustancias químicas. | Medio | No se identifican barreras de control. | Puntos ecológicos para la separación de residuos sólidos. | Capacitación manejo integral de residuos. |
| | | | | Paños absorbentes. Kit atención derrames sustancias químicas. | Ficha de datos de seguridad. Procedimientos para trabajos eléctricos |
| Almacenamiento temporal de sustancias químicas | Contaminación de suelos | Medio | No se identifica barreras de control | Dique para contención de derrames | Hojas de seguridad de las sustancias almacenadas. |
| | | | | Kit atención derrames sustancias químicas Paños absorbentes | Capacitación en sustancias químicas, compatibilidad, almacenamiento y manipulación |
| Pegado | Contaminación de suelo o agua por generación de materiales impregnados con sustancias químicas. | Bajo | No se identifican barreras de control | Puntos ecológicos para la separación de residuos. | Capacitación en manejo de residuos |
| | | | | Gestión externa con empresa certificada para tratamiento de residuos peligrosos. | Matriz de Riesgos y Peligros Planificación diaria del trabajo |
| Pintado | Contaminación de aire, suelo y agua. | Medio | No se identifican barreras de control | Puntos ecológicos para la separación de residuos | Capacitación manejo de residuos |
| | | | | Gestión externa con empresa certificada para tratamiento de residuos peligrosos | Matriz de Riesgos y Peligros Planificación diaria del trabajo |

Nota. Adaptado del Sistema de Gestión Ambiental de la compañía.

4.1.6.6 Matriz de Roles y Responsabilidades

Dentro de un proceso es importante establecer quién, cuándo y cómo hace las actividades, definiendo cuáles son las habilidades, conocimientos y certificaciones para desempeñar cada tarea, a partir de esto se presenta en la (**Tabla 8**) una Matriz de Roles y Responsabilidades que detalla actividad por actividad del taller de componentes eléctricos y las actividades que realiza el electricista con su respectivo perfil laboral y de quién está a cargo, esta herramienta permite generar claridad a la hora de establecer procesos de transferencias del conocimiento, contratación de nuevo talento humano y auditorías, verificaciones e inspecciones de personal tanto interno como externo a la empresa.

Tabla 8

Matriz Roles y Responsabilidades

| Rol | Cargo | Responsabilidades | Rendición de cuentas | Perfil del cargo |
|-------------------------------------|--------------|---|------------------------------------|--|
| Encargado de las pruebas eléctricas | Electricista | 1) Apoyar la logística y acondicionamiento de la realización de la prueba. 2) Prender el dispositivo de medición y desplazar los cables de conexión de prueba que se conectan monofásicamente a los componentes (principio y fin). 3) Individualizar y/o desconectar los componentes eléctricos. 4) Ejecutar la prueba llevando desde cero voltios al nivel de tensión de prueba (es decir, crear una disrupción eléctrica) comparándolo con una curva de referencia obtenida de un componente recién reparado de las mismas especificaciones. NOTA: El encargado de las pruebas eléctricas calcula el nivel de tensión dependiendo del componente. Evaluación de la gestión del mantenimiento, inspección y realización de pruebas para el diagnóstico de la condición de equipos. | Jefe Mantenimiento Eléctrico | Técnico electricista o electromecánico con matrícula vigente CONTE y mínimo dos años de experiencia en el sector eléctrico industrial. |

| Rol | Cargo | Responsabilidades | Rendición de cuentas | Perfil del cargo |
|---|--------------|---|------------------------------|--|
| Encargado del desmonte | Electricista | Apoyar, facilitar y asistir las diferentes actividades de desmonte asignadas por el jefe de Mantenimiento tales como: <ol style="list-style-type: none"> 1) Acondicionar la máquina fuera de servicio o en mantenimiento con sus respectivos bloqueos eléctricos y mecánicos. 2) Adecuar el acceso al generador por medio de la escalera. 3) Apoyar la realización de las pruebas eléctricas para identificar los componentes eléctricos con fallas. 4) Aportar al análisis de los resultados de las pruebas eléctricas y a la toma de decisiones. 5) Si se identifica un componente en falla efectuar en el acondicionamiento de la zona para la extracción mecánica en donde se deben retirar: loza, guardas, aspas, media luna o rotor dependiendo del caso. 6) Validar que el retiro mecánico se haya efectuado correctamente. 7) Usar el puente grúa y ubicar los respectivos estrobos para proceder con la extracción del componente del generador. 8) Realizar el embalaje para transporte del componente rumbo al taller de reparación. | Jefe Mantenimiento Eléctrico | Técnico electricista o electromecánico con matrícula vigente CONTE y mínimo dos años de experiencia en el sector eléctrico industrial. |
| Encargado de la soldadura en fallas | | Aplicar soldadura en la superficie de cada componente eléctrico donde se han identificado fallas con una profundidad y fisura apreciable y notoria. | | |
| Encargado de la limpieza | | Inspeccionar y observar las fallas, lavar con agua y jabón o aplicar productos químicos de limpieza según se requiera y secar con aire a presión. Limpieza con desengrasante y/o removedor industrial. | | |
| Encargado de pulido, sellantes, aislantes y pintura | | <ol style="list-style-type: none"> 1) Aplicar resinas, sellantes y/o aislantes en la parte que se requiera para un sellado final. 2) Hacer un pulido final con bisturí y cuchilla para quitar el excedente de material. 3) Aplicar barniz con brocha para recubrir. 4) Transportar el componente al cuarto de pintura. 5) Ubicar el componente en la mesa de pintura. 6) Acondicionar, pesar y preparar la pintura de acuerdo con la fórmula del fabricante (relación uno a uno entre mezclas). 7) Ingresar la mezcla al tanque del aplicador. 8) Pintar a presión con el aplicador hasta cubrir todos los lugares. | | |
| Encargado del informe de reparación del componente | | <ol style="list-style-type: none"> 1) Utilizar macro de Excel donde se ingresan las variables eléctricas. 2) Adjuntar en el informe la identificación de la falla con el resultado de la prueba eléctrica, el registro visual del proceso de reparación en el taller, el comparativo de las pruebas eléctricas y conclusiones del proceso de reparación e ingreso a la hoja de vida del componente y actualización del registro general. | | |

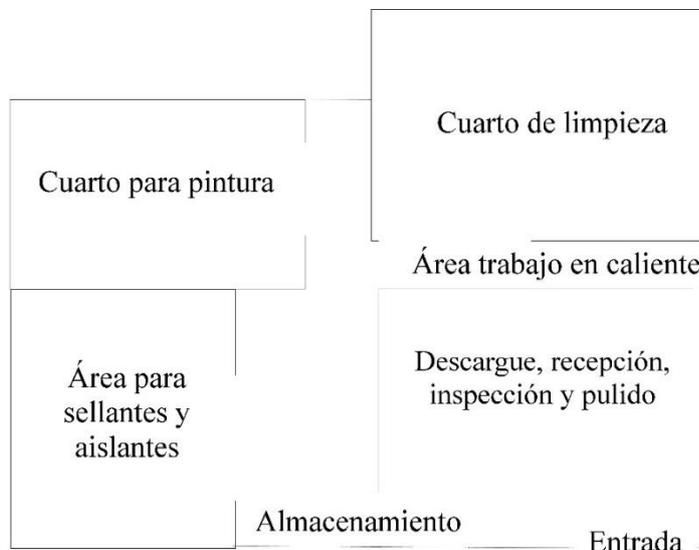
4.2 Diseño de distribución de planta

4.2.1 Diagnóstico distribución actual

Actualmente el taller de reparación de componentes eléctricos cuenta con 4 espacios para cada uno de sus procesos lo cuales son pintado, limpieza, área de sellantes y aislantes y un salón principal que es donde se encuentra la entrada y allí mismo se hace el descargue, recepción, inspección, pulido y almacenado; tal y como se visualiza en el siguiente esquema (**Figura 8**).

Figura 8

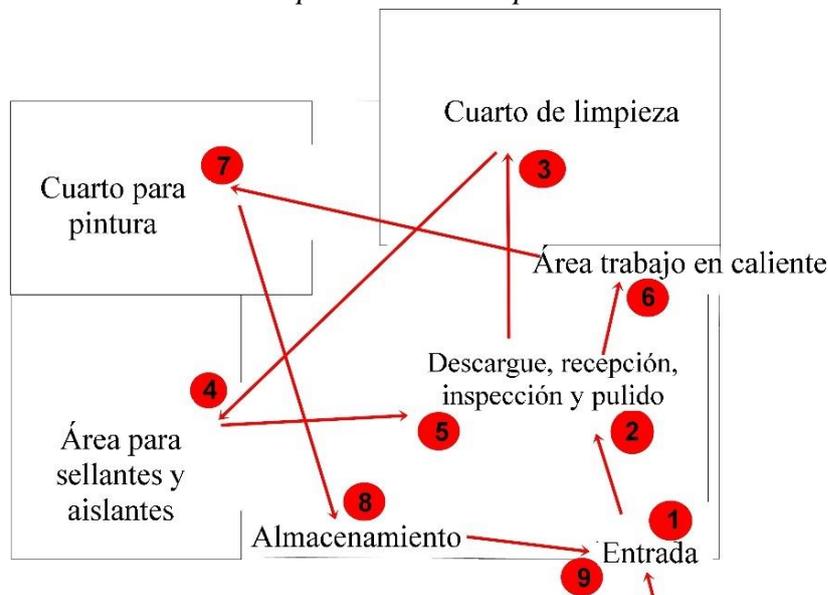
Distribución actual taller de reparación de componentes eléctricos



A partir de la anterior distribución de planta se procede a detallar los hilos y recorridos del proceso, el cual es el siguiente diagrama (**Figura 9**).

Figura 9

Hilos y recorridos taller de reparación de componentes eléctricos



En la **(Figura 9)** los números que acompañan a cada flecha indican el orden en el que se distribuye el proceso, es decir, primero encontramos la entrada y luego sigue el descargue, recepción, inspección, limpieza, sellantes y aislantes y así sucesivamente hasta terminar en el almacenado y posterior salida por la misma entrada donde comenzó todo el proceso.

Del anterior análisis de hilos y recorridos se concluye que el recorrido del proceso no es lineal, lo cual impide dar un orden a la hora de realizar observaciones de los puestos de trabajo; seguido de esto es riesgoso desde el punto de vista de la Ingeniería del Trabajo y la Seguridad y Salud en el Trabajo que un espacio de trabajo como el descargue, recepción, inspección y pulido sean a la vez el lugar de almacenamiento de los componentes y también sean la vía para acceder a otros lugares de trabajo como el área de trabajo en caliente, pintado y limpieza aun cuando no se está ni trabajando en caliente, pintando o limpiando los componentes eléctricos; es decir, que las rutas de acceso a cada unidad de trabajo deben ser independientes y el taller debe contar con su propio lugar de almacenaje para el resto de material pesado o voluminoso y así evitar eventos de Seguridad y Salud en el Trabajo además de bloqueos en las diferentes unidades de trabajo que pueden ocasionar demoras en las líneas de producción.

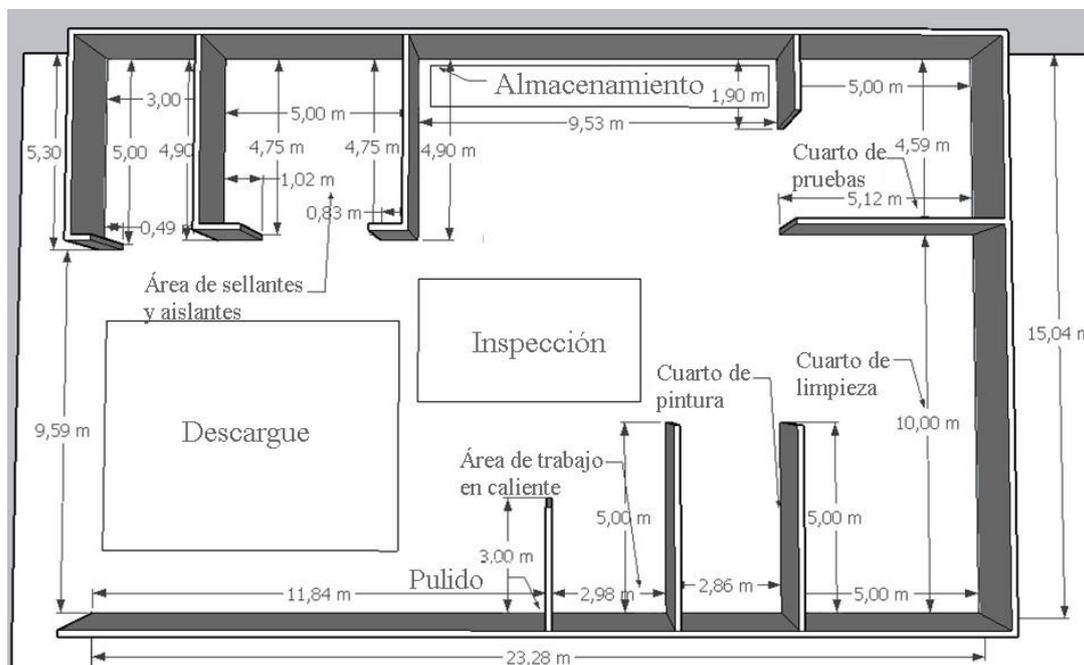
Finalmente, otro factor a considerar desde la Seguridad y Salud en el Trabajo es que la entrada también sirve como salida de emergencia y con base a la **Norma Técnica Colombiana 1700 (Higiene y Seguridad, Medidas de Seguridad en Edificaciones y Medios de Evacuación)** esto representa un riesgo puesto que al presentarse una emergencia esta salida puede estar bloqueada con maquinaria y causar demoras en la evacuación.

4.2.2 Redistribución del proceso en planta.

A partir del diagnóstico de la distribución actual y los hallazgos anteriormente explicados se procede a bosquejar una nueva propuesta de distribución de 356 m² de área; inicialmente se diseña la siguiente idea con las medidas idóneas para cada unidad de trabajo, tal y como se puede apreciar en el siguiente plano **(Figura 10)**:

Figura 10

Redistribución preliminar taller de reparación de componentes eléctricos



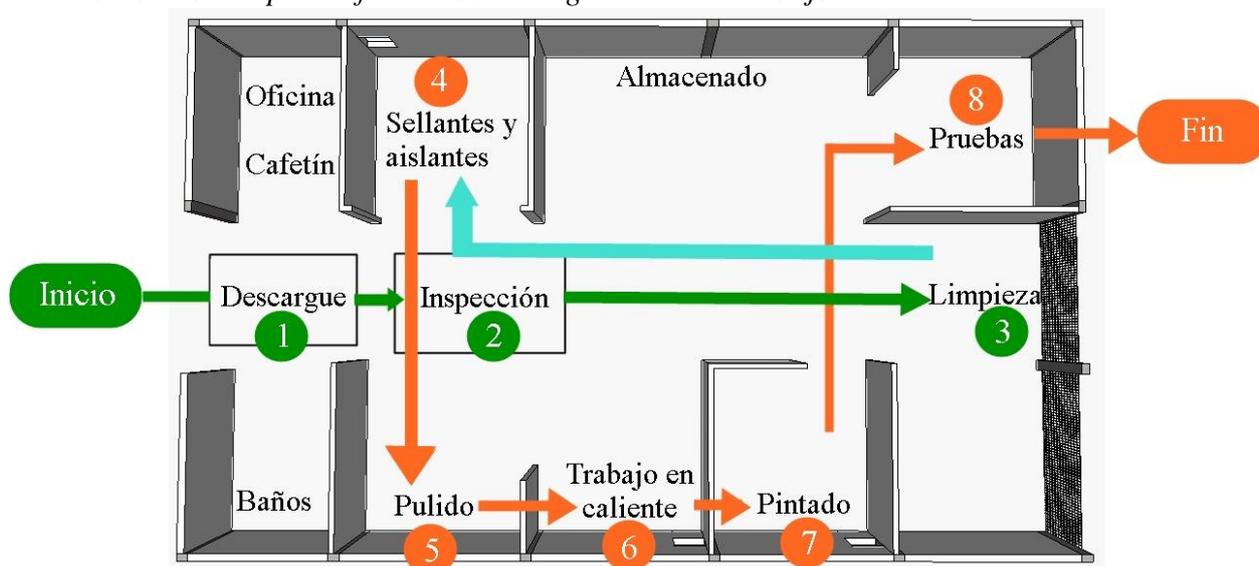
Este análisis preliminar sirvió como idea inicial para identificar los requerimientos a nivel de Ingeniería del Trabajo (flujo del proceso), Obras Civiles y Seguridad y Salud en el Trabajo que se presentan a continuación.

4.2.3 Redistribución desde la Ingeniería del Trabajo.

Al estudiar los flujos del proceso dentro del plano anteriormente presentado se encuentra que el montaje y pulido pueden unificarse en una sola unidad de trabajo puesto que son procesos íntimamente relacionados, a su vez se ubican tanto el cafetín como a la oficina en el mismo salón con los baños para los colaboradores al frente de ellos; es así como la distribución en planta queda de la siguiente manera (**Figura 11 Distribución en planta final desde la Ingeniería del Trabajo**).

Figura 11

Distribución en planta final desde la Ingeniería del Trabajo



La distribución en planta queda con el descargue como primera actividad al entrar al taller, luego sigue la zona de inspección (puede ampliarse su ancho si se desea puesto que se dejó un espacio dentro del plano por si era necesario). Cuando se ha inspeccionado el componente se desplaza al área de limpieza que se ubica en la parte trasera por motivos de Seguridad y Salud en el Trabajo debido a que allí se trabaja con sustancias tóxicas y/o corrosivas; por ende es mejor tenerlo alejado del resto de unidades de trabajo para evitar la inhalación de gases de los demás colaboradores que en el momento están trabajando en otras áreas y no llevan careta ni tapabocas, es por esta misma razón es que este sitio no tiene una pared de concreto en su longitud sino una malla en ciclón que permite la circulación de aire y la mejor respiración de la persona que se encuentra limpiando los componentes.

Una vez es limpiado el componente se lleva al cuarto de sellados y aislantes que es completamente aislado y climatizado para preservar los insumos, por esta misma razón se ubica lejos del pintado y limpieza para evitar la entrada de gases y sustancias tóxicas en este sitio que tiene bastante recirculación de aire. Finalmente se encuentran ubicados en línea y en orden de ejecución los procesos de pulido, trabajo en caliente y pintado que al ejecutarse ya se lleva el componente al cuarto de pruebas que dependiendo del contexto se despacha por la puerta que tiene este cuarto o en su defecto se lleva a la zona de almacenamiento y ahí culmina el proceso dentro del taller.

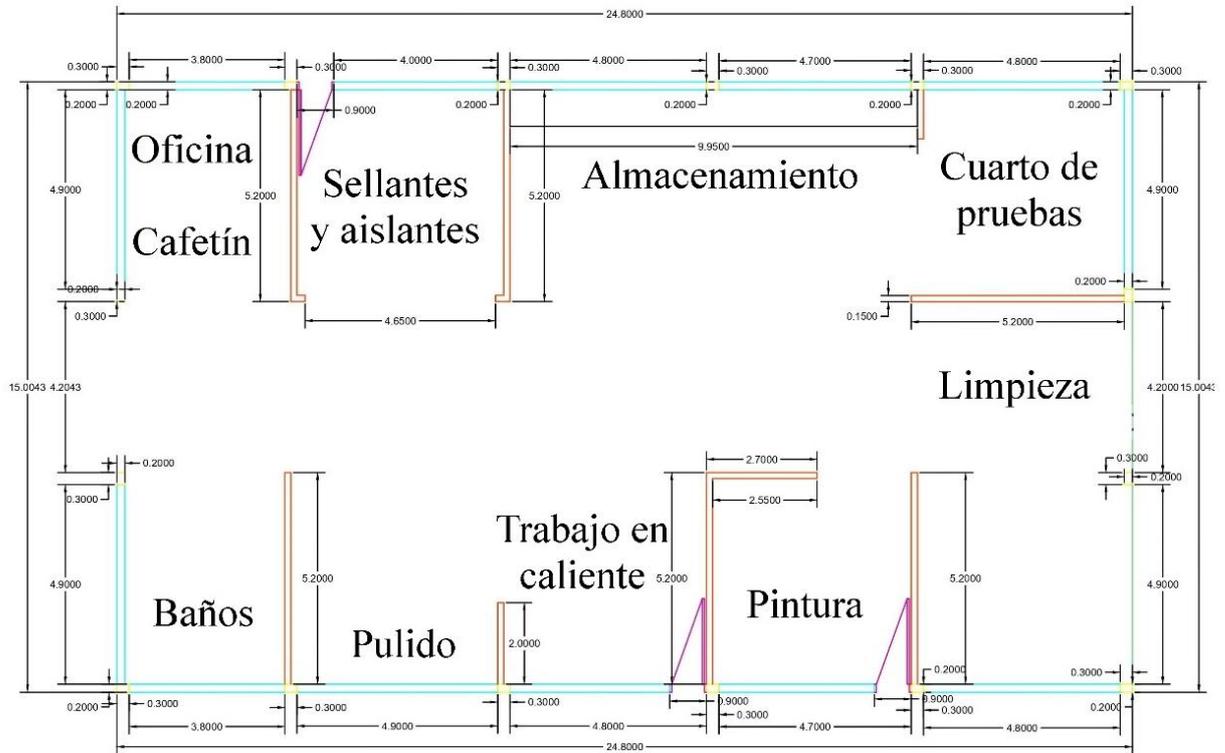
Se ubican los baños, cafetín y oficina contiguos para que los colaboradores no tengan que efectuar desplazamientos innecesarios durante trabajos netamente administrativos y/o jornadas de descanso. Además de que la oficina y cafetín se ubican en toda la entrada para facilitarse también como punto de recepción para el personal, contratistas y/o demás personas que llegan al taller.

4.2.4 Redistribución desde las Obras Civiles.

Luego de la definición final de la distribución de las unidades de trabajo al aclarar el flujo del proceso al interior del taller y las dimensiones respectivas, se procede a ajustar la propuesta con los requerimientos de medidas, normas y exigencias respecto al área de obras civiles. Es así como se aplica la **Norma Sismo Resistente (NSR-10)** en un plano en el software AutoCAD ajustando medidas de cimentaciones, vigas y columnas con ayuda del personal de Obras Civiles; el plano del taller ajustado puede observarse en la siguiente (**Figura 12**).

Figura 12

Distribución ajustada desde el punto de vista de obras civiles



*Escala de 1.50

4.2.5 Redistribución desde la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)

Es importante que la distribución en planta cuente con los requerimientos de Seguridad y Salud en el Trabajo-SST garantizando que las instalaciones sean un lugar seguro y adecuado para el desarrollo de las actividades del taller de reparación de componentes eléctricos, mitigando los posibles riesgos y peligros operacionales, por tanto, se apoya de la **Norma Técnica Colombiana 1700 (Higiene y Seguridad, Medidas de Seguridad en Edificaciones y Medios de Evacuación)** y la **1461 (Símbolos y señales de seguridad. Dimensiones y disposición)** que se enfocan en la **OSHAS 18001** la cual es el estándar internacional utilizado para la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Se aplican los siguientes aspectos:

Según la Norma Técnica Colombiana 1700:1982

- Las puertas de escape del taller se diseñan con un sistema de cierre automático que garantice mantenerlas cerradas permanentemente pero que al evacuar el área este sistema de apertura no afecta la salida de las personas, además tendrán un ancho mayor a 70 cm para que cumpla con esta norma.
- Se exigen mínimo dos salidas por piso, el diseño de redistribución del taller contempla dos salidas de emergencia, una entrada y una puerta de salida trasera.
- La redistribución del taller contempla un ancho mínimo libre de obstáculos de 1 metro para las dos salidas de emergencia y así cumplir con esta norma.

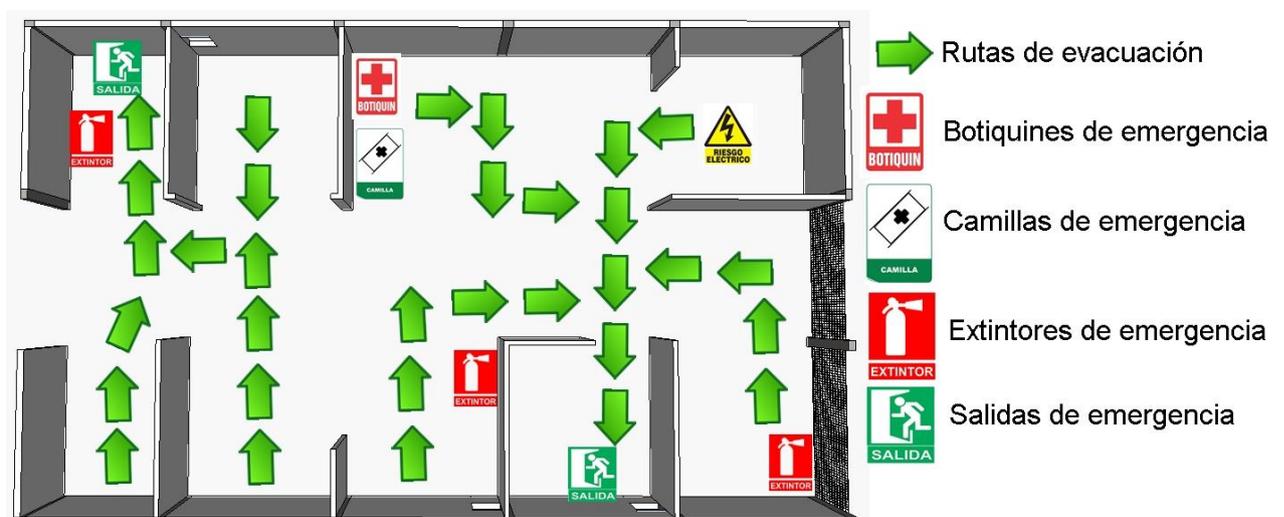
Según la Norma Técnica Colombiana 1461:1987

- Se ubican a más de 180 cm los avisos de evacuación en la redistribución del taller y en lugares visibles desde todos los lugares.
- Se diseñan las guías de evacuación de manera continua y progresiva a menos de 10 metros y conducen a un punto de encuentro que en este caso sería las calles continuas al área del taller dentro de la central.
- Las señales de evacuación no son obstruidas por ningún elemento ni vehicular ni de flora.

A continuación, se presenta el diseño del plan de evacuación para la redistribución del taller de reparación de componentes eléctricos (**Figura 13**).

Figura 13

Plan de evacuación SST para el taller de reparación



Las salidas de emergencia son dos, una está dentro del cuarto de pintado y la otra en la oficina; además se encuentran tres extintores dentro del diseño tanto en el área de limpieza, pulido y otro en el cafetín. Respecto a los primeros auxilios se cuenta con una camilla y un botiquín en el área de almacenaje; vale la pena mencionar que en el cuarto de pruebas se presenta riesgo eléctrico debido a las pruebas con altos voltajes que se llevan a cabo en este sitio.

4.2.6 Propuesta de redistribución en planta para el taller de reparación

Una vez se aplican las normas y requerimientos a nivel de Ingeniería del Trabajo, Obras Civiles y Seguridad y Salud del Trabajo se procede a diseñar el modelo 3D del nuevo taller de reparación de componentes eléctricos en el software SketChup y queda de la siguiente manera como se aprecia en la **(Figura 14)**.

Figura 14

Propuesta de redistribución en planta para el taller

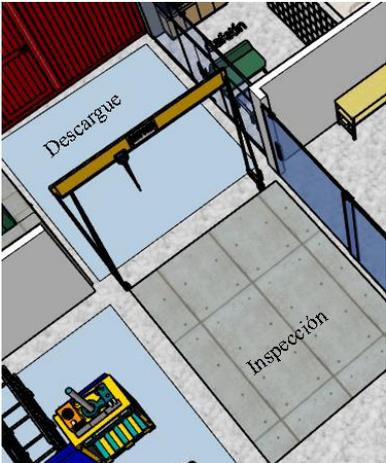
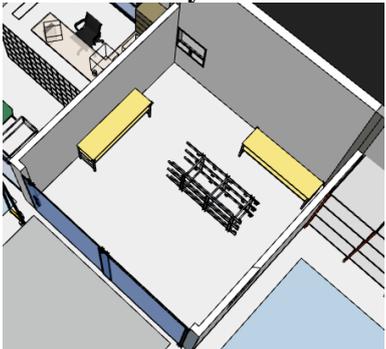
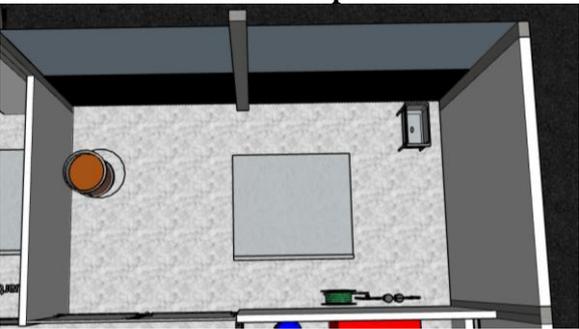


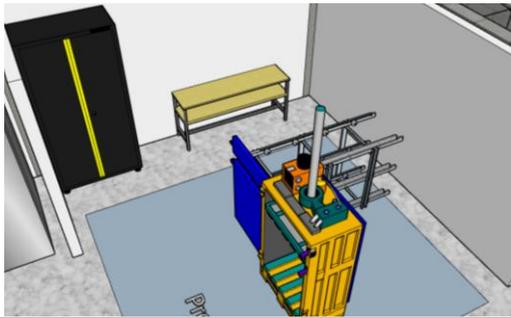
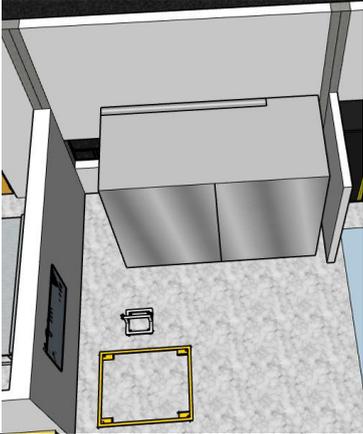
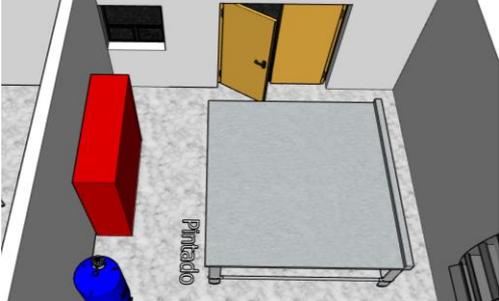
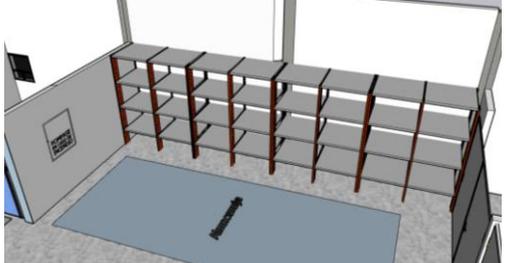
A continuación, se procede a explicar parte por parte del diseño del taller de reparación de componentes eléctricos tomando en cuenta los detalles de Ingeniería del Trabajo, Obras Civiles y Seguridad y Salud en el Trabajo en la (Tabla 9).

4.2.6.1 Descripción de la redistribución para el taller de reparación

Tabla 9

Especificaciones de la redistribución

| Área de trabajo con descripción gráfica | Especificaciones |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">Descargue e inspección</p>  | <p>Medidas: 4 metros de largo x 5 metros de ancho.</p> <p>Descargue: Este es un espacio vacío y delimitado con zona de seguridad que será utilizado para el ingreso del camión estaca al taller para la descarga de los componentes por medio de elementos de izaje.</p> <p>Medidas: 5 metros de largo x 5 metros de ancho (puede alargarse el ancho hasta 20 metros si se requiere, puesto que queda un espacio dentro del diseño).</p> <p>Inspección: Espacio delimitado con zona de seguridad que será utilizado para la inspección de los componentes por medio de una máquina especial que permite la rotación de elementos pesados.</p> |
| <p style="text-align: center;">Sellantes y aislantes</p>  | <p>Medidas: 5 metros de largo x 5 metros de ancho.</p> <p>El cuarto de sellantes y aislantes es climatizado (control de aire acondicionado) para la conservación y preservación de los insumos utilizados en la reparación.</p> <p>Acá habrá una mesa de 1,20 metro de largo x 60 cm de ancho x 75 cm de altura para la aplicación de los respectivos sellantes y aislantes.</p> |
| <p style="text-align: center;">Limpieza</p>  | <p>Medidas: 10 metros de largo x 5 metros de ancho.</p> <p>Espacio para la limpieza de los componentes eléctricos con sustancias químicas, agua y/o jabón. Acá habrá un extintor, baldes, poceta y manguera. Se contará con una mesa de 1,20 metro de largo x 60 cm de ancho x 75 cm de altura que será de utilidad para diferentes procedimientos.</p> |

| Área de trabajo con descripción gráfica | Especificaciones |
|--|--|
| <p style="text-align: center;">Pulido</p>  | <p>Medidas: 5 metros de largo x 2 de ancho muro lado derecho y 4,90 metros ancho muro lado izquierdo.</p> <p>El área de pulido está delimitada con zona de seguridad y cuenta con mesas especiales para efectuar la actividad.</p> <p>Se contará con una mesa de 1,20 metro de largo x 60 cm de ancho x 75 cm para el manejo de la herramienta y además de un gabinete para guardar los diferentes implementos.</p> |
| <p style="text-align: center;">Trabajo en caliente</p>  | <p>Medidas: 4,80 metros de largo x 4,90 de ancho muro lado derecho y 2 metros ancho muro lado izquierdo.</p> <p>El espacio contará con un cuarto de soldado de 1 metro de ancho x 1 metro de alto x 3 metros de largo.</p> <p>Además, tendrá un tablero organizador de herramientas en el muro derecho de 4,90 metros de ancho.</p> |
| <p style="text-align: center;">Pintado</p>  | <p>Medidas: 4,70 metros de largo x 4,90 metros de ancho.</p> <p>El pintado contará con una bomba de pintura, un gabinete para guardar los insumos y herramientas necesarias.</p> <p>Tendrá una mesa de 3 metro de largo x 1,20 cm de ancho x 75 cm de altura.</p> |
| <p style="text-align: center;">Pruebas</p>  | <p>Medidas: 5 metros de largo x 5,20 metros de ancho.</p> <p>El cuarto para pruebas contará en su interior con componentes previamente reparados de las centrales y los equipos de pruebas eléctricas respectivos y una mesa de mesa de 1,20 metro de largo x 60 cm de ancho x 75 cm que servirá de soporte para las diferentes actividades.</p> |
| <p style="text-align: center;">Almacenaje</p>  | <p>Medidas: 10 metros de largo x 1,20 de ancho muro lado derecho y 5 metros ancho muro lado izquierdo.</p> <p>Este espacio tendrá unas estanterías de 10 metros de largo x 1,20 metros de ancho x 5 metros de altura para el almacenaje de los componentes reparados.</p> <p>Tendrá en la pared de 5 metros de ancho una camilla y un botiquín para cumplir con el esquema de atención de emergencias.</p> |

| Área de trabajo con descripción gráfica | Especificaciones |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">Baños</p>  | <p>Medidas: 3,80 metros de largo x 4,90 metros de ancho.</p> <p>Baño para los respectivos colaboradores que contará con un inodoro, un orinal, lavamanos con gabinete y el respectivo espejo.</p> |
| <p style="text-align: center;">Oficina/cafetín</p>  | <p>Medidas: 4 metros de largo x 5 metros de ancho.</p> <p>La zona de oficina/cafetín contará con cocina integral, dispensador de agua, nevera, muebles, mesa de sala, celosía divisoria entre cafetín y oficina, escritorio de oficina, computador de mesa, impresora, silla de oficina y closet para los colaboradores.</p> |

4.2.7 Requerimientos para redistribución

Finalmente se establecen los requerimientos de obras civiles, cerrajería, y mobiliario para ejecutar la propuesta y hacerla realidad.

4.2.7.1 Obras civiles

Los requerimientos generales desde el punto de vista de obras civiles cumpliendo con la Norma Sismo Resistente NSR-10 y calculados con la orientación del personal de Obras Civiles de la Central Hidroeléctrica son los siguientes (**Tabla 10**).

Tabla 10

Especificaciones técnicas obras civiles

| Aspecto | Especificaciones* |
|---------------------------|---|
| Área necesaria del predio | 356,11 m ² . |
| Tipo de terreno | Plano |
| Piso concreto no muy liso | <ul style="list-style-type: none"> • Área total: 322 m² de área con 34 m³ de espesor • Dosificación arena concreto: 14288 • Debe tener malla eléctrica soldada |
| Tipo de construcción | Mampostería confinada al exterior y al interior construcción estructural |
| Vigas | 25x20 centímetros |
| Columnas | 30x20 centímetros (adobe mínimo de 0.20) |

| Aspecto | Especificaciones* |
|--|---|
| Muro lateral estructural derecho de 22.93 m de largo | Muros laterales de 0.15 Área: 138 m ² Número de adobes: 1719 |
| Muro lateral estructural izquierdo de 22.93 m de largo | Muros laterales de 0.15 Área: 138 m ² Número de adobes: 1719 |
| Muro 5m fachada (lado izquierdo) | Muros laterales de 0.15 Área: 30 m ² Número de adobes: 375 |
| Muro 3m fachada (lado derecho) | Muros laterales de 0.15 Área: 18 m ² Número de adobes: 225 |
| Muro 5m parte trasera (lado izquierdo) | Muros laterales de 0.15 Área: 30 m ² Número de adobes: 375 |
| Mampostería | - Las unidades de mampostería serán de concreto. - Las unidades de mampostería serán de perforación vertical |
| Morteros de pega | La dosificación de cemento y cal respecto a la arena cernida por malla no puede ser inferior a 1:4 en volumen. |

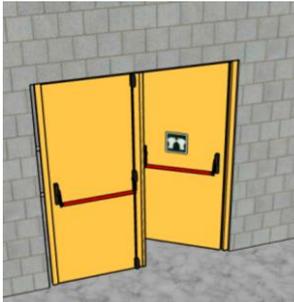
*Especificaciones obtenidas a partir de reuniones con el profesional especializado del área.

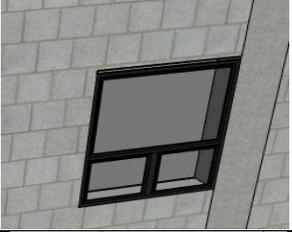
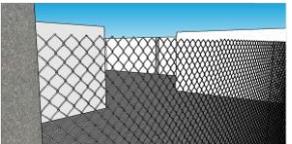
4.2.7.2 Cerrajería

Otro aspecto crucial para la infraestructura física del taller es dotarlo del acondicionamiento en cerrajería, cumpliendo así también con la política de Seguridad y Salud en el Trabajo. A continuación, se presentan las especificaciones necesarias de las salidas de emergencia, ventanas, puertas y mallas a adquirir en la (Tabla 11 Especificaciones cerrajería).

Tabla 11

Especificaciones cerrajería

| Número de unidades | Insumo | Especificaciones | Descripción gráfica |
|--------------------|-------------------------------|--|---|
| 2 | Puertas salidas de emergencia | <p>Material: lámina galvanizada calibre 18 para tráfico pesado Medida: 91 x 213 cm</p> <p>Requerimientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apertura hacia afuera • Barra antipánico que ocupe como mínimo un 70% del ancho de la puerta • Corta fuegos |  |
| 1 | Puerta taller principal | <p>Material: acero galvanizado Medida: 9,59 m de ancho x 5 m de altura</p> <p>Requerimientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puerta enrollable de alta velocidad |  |

| Número de unidades | Insumo | Especificaciones | Descripción gráfica |
|--------------------|---|--|---|
| 2 | Ventana para cuarto de pintado y de empapelado | Material: PVC Tipo de cerradura: Manual Tipo de vidrio: Vidrio termopanel Sistema de apertura: Corrediza Alto: 150 cm Ancho: 120 cm Espesor: 4 mm |  |
| 1 | Techo | Material: Chapa metálica Medida: 360,11 m ² Requerimientos: En forma de V o tipo coliseo y el taller va a tener 6 m de altura |  |
| 1 | Cerramiento en malla ciclón para cuarto de limpieza | Material: ciclónica forrada ojo 2" cal 10 Medida: Un lado de 5 m de ancho con altura de 3 m Requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> • Postes en tubería galvanizada de 1 1/2", pies en tubería galvanizada • Cerramiento diagonal • Con puerta de salida de 91 x 213 cm |   |

4.2.7.3 Mobiliario

Otro de los requerimientos para contar con un taller de reparación de componentes eléctricos en óptimas condiciones es dotarlo de todos los artículos mobiliarios necesarios para los colaboradores y para permitir el desarrollo de las diferentes actividades. A continuación, se presentan los mobiliarios necesarios para dotar al taller en la (Tabla 12).

Tabla 12

Recursos mobiliarios necesarios para taller de reparación

| Elementos | Cantidad necesaria |
|---|--------------------|
| Computadora (con Monitor y Accesorios) | 2 |
| Estanterías Grandes Capacidad 14 toneladas | 4 |
| Gabinete Metálico Piezas Grandes | 1 |
| Gabinete Metálico para Piezas Pequeñas | 1 |
| Proyector | 1 |
| Celosia | 1 |
| Pack Inodoro | 1 |
| Grifería y Pileta para Baños | 1 |
| Lockers (12 Pueras) | 1 |
| Microondas | 1 |
| Dispensador de agua | 1 |
| Nevera | 1 |
| Carro de herramientas | 3 |
| Banco de pared | 1 |
| Cocina integral | 1 |
| Silla para mecánico | 4 |
| Silla de Oficina | 1 |
| Escritorio de Oficina en L | 1 |
| Mesa De Trabajo Industrial en Acero Inoxidable 1,20 metro de largo x 60 cm de ancho x 75 cm de altura | 3 |
| Mesa De Trabajo Industrial en Acero Inoxidable 3 metro de largo x 1,20 cm de ancho x 75 cm de altura. | 1 |
| Tablero organizador de herramientas | 2 |
| Mesa de Reuniones | 1 |
| Biblioteca-Estantería | 1 |
| Pizarra-Tablero | 1 |
| Total elementos | 36 |

4.3 Estudio de Relocalización

4.3.1 Criterios y recolección de información

Para la compañía de generación de energía dueña del taller de reparación de componentes eléctricos es importante que el lugar de localización cuente primero que todo con condiciones favorables de seguridad tanto física, vial y pública, así mismo es importante la disponibilidad de mano de obra, unas buenas condiciones medioambientales y cercanía del taller al resto de centrales; además en este estudio también se analizaron los costos de transporte y seguros.

Para establecer una ubicación del taller de reparación de componentes eléctricos se procede a aplicar tres diferentes métodos de localización, uno de ellos es el método de carga distancia que sirve como análisis preliminar para establecer posibles candidatos a ser el lugar de localización del taller; luego de esto se aplica un método de decisión multicriterio que agrupa tanto variables cuantitativas como cualitativas, el cual es el Método Analítico Jerárquico (AHP) en donde se otorgan pesos de relevancia a los criterios identificados y estudiados con el jefe de la Central Hidroeléctrica y el jefe de mantenimiento. Los pesos para cada Central Hidroeléctrica se dan con base a los datos, entrevistas e informes proporcionados y efectuados con la Gerencia de Mantenimiento y el Equipo de Talento Humano para los criterios de: Vías de acceso, Seguridad, Disponibilidad de mano de obra, Costos de transporte, Impuestos, Condiciones Ambientales, Seguros y Disponibilidad del terreno-Condiciones físicas. Finalmente se aplica el Método de localización de Brown-Gibson para validar lo efectuado en el análisis multicriterio (AHP) y servir como análisis confirmatorio y/o comprobatorio; las Centrales Hidroeléctricas que se tienen como alternativas y sus respectivas etiquetas son las siguientes (**Tabla 13**).

Tabla 13

Alternativas para relocalizar

| Alternativa | Etiqueta |
|----------------|----------|
| Central 1 | C1 |
| Central 2 | C2 |
| Central 3 | C3 |
| Central 4 | C4 |
| Central 5 | C5 |
| Central 6 | C6 |
| Central 7 | C7 |
| Central 8 | C8 |
| Central 9 | C9 |
| Central 10 | C10 |
| Central 11 | C11 |
| Central 12 | C12 |
| Central Actual | CA |

A la hora de localizar cualquier instalación de una compañía es imprescindible analizar todas las alternativas disponibles, ya que de la elección depende el éxito o fracaso de los objetivos operacionales y/o corporativos. Existen diferentes riesgos asociados a las operaciones de una compañía en determinados lugares ya sea por causas externas o internas, por tal motivo se vuelve importante hacer una evaluación estratégica a partir de la política de la empresa para definir dónde ubicar una instalación. Para este estudio se definieron y trabajaron los siguientes criterios (cualitativos y cuantitativos):

4.3.1.1 Seguridad

Para la compañía la seguridad es un pilar fundamental, innegociable e irrenunciable; es un criterio de tipo cualitativo, para analizarlo, se contacta al Equipo de Seguridad Privada y se entrevista a la Profesional de Seguridad Privada, quien menciona que “respecto al nivel de riesgo de centrales, consideramos el riesgo asociado a riesgo público (actos malintencionados de terceros que pueden afectar la seguridad de las personas, la infraestructura y la viabilidad de las operaciones).”

En esta medida, la calificación global de riesgos que dispone el área para cada central es la siguiente:

- CA, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9, C10 y C12: riesgo bajo.
- C1, C8 y C11: riesgo medio.

4.3.1.2 Vías de acceso

Para poder evaluar las vías, se contacta al Equipo de Seguridad Privada y finalmente se analiza y trabaja este criterio con el encargado de la seguridad de la logística del transporte. En este factor cualitativo se estudian los riesgos asociados a la seguridad vial, identificando inicialmente las rutas de acceso a cada una de las Centrales Hidroeléctricas y posterior a ello, definiendo los puntos críticos y la disposición de vías de acceso. Finalmente se evalúa el riesgo vial, el estado de la vía y se le da una calificación global a cada central.

Se obtienen resultados similares puesto que hay 3 grupos de Centrales que usan las mismas vías de acceso; está el Grupo 1 de centrales que obtuvieron un nivel de riesgos moderado y un estado de la vía regular. También está el Grupo 2 y estas están en un nivel de riesgo moderado y estado de la vía es bueno. A su vez, encontramos el Grupo 3 que tienen un acceso más complicado que el resto de las centrales al tener un estado de la vía malo y un riesgo moderado.

La mejor elección en materia de vías es la **Central Hidroeléctrica C12** que es la única que tiene un nivel de riesgo bajo y un estado de la vía en perfectas condiciones constituyéndose en un referente en materia de seguridad y facilidad de acceso tanto para maquinaria, insumos y personal, tal y como se aprecia en el siguiente estudio (**Tabla 14**).

Tabla 14

Estudio Seguridad Vial – Condición Vías de Acceso

| Central | Tipo de vía (pavimentado o afirmado)* | Número de puntos críticos | Nivel de riesgo | Estado de la vía (Bueno/regular/malo) | Calificación global (1 a 5) |
|---------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| C1 | Pavimentado y afirmado | 3 | Moderado | Regular | 3 |
| C12 | Pavimentado | 3 | Bajo | Buena | 4,5 |
| C11 | Pavimentado | 1 | Moderado | Buena | 4 |
| C4 | Pavimentado y afirmado | 6 | Moderado | Regular | 3 |
| C7 | Pavimentado y afirmado | 3 | Moderado | Regular | 3,5 |
| C3 | Pavimentado y afirmado | 4 | Moderado | Regular | 3,5 |
| C8 | Pavimentado y afirmado | 1 | Moderado | Mala | 2 |
| C4 | Pavimentado y afirmado | 4 | Moderado | Mala | 2 |
| C6 | Pavimentado y afirmado | 1 | Moderado | Mala | 2 |
| C2 | Pavimentado y afirmado | 1 | Moderado | Buena | 4,5 |
| C10 | Pavimentado y afirmado | No se presentan | Moderado | Buena | 4 |
| C9 | Pavimentado y afirmado | No se presentan | Moderado | Buena | 4 |
| C5 | Pavimentado y afirmado | No se presentan | Moderado | Buena | 4 |

*Todas las vías son mantenibles

4.3.1.3 Disponibilidad de mano de obra

La disponibilidad de mano de obra dentro de este estudio se toma con un enfoque cualitativo, para analizarlo se elabora un formulario donde se evalúa la facilidad para atraer y seleccionar electricistas para el mantenimiento eléctrico de las centrales y que a su vez tendrían a cargo la reparación de los componentes.

Se define una escala de facilidad de atracción y selección de personal que va desde 1 a 5, de la siguiente manera: (5) para mayor facilidad, (4) poca dificultad, (3) dificultad normal, (2) dificultad moderada y (1) gran dificultad.

Una vez se tiene la metodología se procede a entrevistar y a aplicar el formulario a la Psicóloga de selección de la compañía y se obtienen los siguientes resultados (**Tabla 15**).

Tabla 15

Escala de valoración atracción y selección

| Centrales | Escala | Contexto |
|----------------------------------|--------|--|
| CA, C3, C7, C11 Y C12 | 3 | Se cuenta con candidatos que cumplen los requerimientos técnicos y conductuales requeridos por la compañía. |
| C1, C2, C4, C5, C6, C8, C9 y C10 | 1 | Los candidatos deben residir en la región y contar con las competencias técnicas y conductuales requeridas por la compañía, lo cual hace que los procesos de selección sean más exigentes por requerir que se cumplan todas las condiciones al tiempo, esto complejiza los mismos. |

Nota. Adaptado del área de atracción y selección de la compañía

Del anterior análisis (**Tabla 15**) se concluye que las centrales que se encuentran es una escala de 1 en materia pueden generar inconvenientes con la disponibilidad de mano de obra y repercutir en el desarrollo de las actividades si se localiza el taller en estos lugares; por este factor de decisión es más recomendable inclinarse por las centrales CA, C3, C7, C11 y C12 que tienen una experiencia de más años de labor y desarrollo entorno al sector de generación de energía eléctrica.

4.3.1.4 Costos de transporte

Los costos de transporte y las distancias son factores de tipo cuantitativo; para su desarrollo primero se analizan los pesos de los componentes eléctricos debido a que las dimensiones varían dependiendo de cada central, por tanto, también el tipo de camión que las pueda transportar eventualmente cambia. A continuación, se presenta el peso de los componentes para cada Central Hidroeléctrica en el siguiente esquema (**Tabla 16**).

Tabla 16

Pesos componentes eléctricos Centrales Hidroeléctricas

| Centrales | Entre | Hasta |
|------------------|--------------|--------------|
| C12 | 1000 kg | 3450 kg |
| C11 | 900 kg | 3200 kg |
| CA | 700 kg | 2540 kg |
| C7 | 600 kg | 2500 kg |
| C1 | 500 kg | 1200 kg |
| C3 | 100 kg | 350 kg |
| C8 | 100 kg | 350 kg |
| C10 | 500 kg | 1200 kg |
| C4 | 80 kg | 200 kg |
| C6 | 80 kg | 200 kg |
| C2 | 80 kg | 200 kg |
| C9 | 80 kg | 200 kg |
| C5 | 80 kg | 200 kg |

Una vez se tienen las especificaciones de los componentes eléctricos se procede a calcular los costos de transporte, para esto se contacta al encargado de la compañía para el área de transporte, a partir de esta comunicación se encuentra que los vehículos que se tienen fijos para el servicio de carga son el camión furgón de 7 toneladas y el costo por km recorrido es de \$3.000* y el camión estaca de 3 toneladas por costo por km de \$2.600*.

*Valores cambiados por política de confidencialidad de la compañía

Al conocer la capacidad que tienen los camiones de la empresa, se procede a definir qué tipo de camión se requiere para el transporte de los componentes de cada central, es decir si el componente a reparar solo necesita un camión de 3 toneladas o por el contrario se requiere un camión de 7 toneladas. De dicho análisis se encuentra que todos los componentes de todas las centrales se pueden transportar con un camión de 3 toneladas, sin embargo, si se necesita enviar un componente muy grande de la Centrales C11 y C12 se requiere de un camión de 7 toneladas como se presenta en la siguiente (**Tabla 17**).

Tabla 17

Tipo de camión envío componentes

| | Pesaje | | Camión furgón | |
|-----|---------|---------|---------------|-------|
| | Entre | Hasta | 3 TON | 7 TON |
| C1 | 500 kg | 1200 kg | X | |
| C12 | 1000 kg | 3450 kg | X | X |
| C11 | 900 kg | 3200 kg | X | X |
| CA | 700 kg | 2540 kg | X | |
| C7 | 600 kg | 2500 kg | X | |
| C3 | 100 kg | 350 kg | X | |
| C8 | 100 kg | 350 kg | X | |
| C10 | 100 kg | 350 kg | X | |
| C4 | 80 kg | 200 kg | X | |
| C6 | 80 kg | 200 kg | X | |
| C2 | 80 kg | 200 kg | X | |
| C9 | 80 kg | 200 kg | X | |
| C5 | 80 kg | 200 kg | X | |

Para poder conocer los costos totales del transporte para cada central es necesario realizar un ruteo entre todas las centrales, es decir, se toma una central de origen y luego se deben calcular las rutas y distancias para enviar componentes eléctricos desde ahí hasta las otras 12 centrales hidroeléctricas estudiadas y luego de tener las distancias multiplicar por el costo por kilómetro. Se partió de dos supuestos:

- 1) Para generalizar y tener mayor claridad se supondrá que solo van a enviarse componentes menores de 3 toneladas por tanto solo trabajará con el camión de 3 toneladas (Costo por km: \$2.600) para calcular los costos totales.
- 2) El ruteo de transporte se hará como si se fuera a hacer un despacho de componentes desde la central estudiada hacia todas las otras 12 centrales, en otras palabras, desde la central estudiada se envían 12 diferentes camiones con 12 diferentes componentes que irán a 13 centrales diferentes.

Para la elaboración del ruteo se procede por medio de Google Earth a mapear las rutas de transporte entre todas las centrales, decir, cada central se tomará como punto de origen y se procederá a calcular las distancias para ir a las otras 12 centrales, se repite este mismo proceso 13 veces, ósea, que cada una de las 13 centrales se tomará como punto de origen en su momento ver **(Anexo 1. Matriz Costos Transporte de Carga)**.

A partir de las rutas estudiadas, descritas y analizadas; se procede a sumar los kilómetros que tiene cada central en distancia hacia las demás. De dicho procedimiento se concluye que la Central C9 es el punto de equilibrio, es decir, el punto más equidistante entre todas las centrales puesto que a nivel de trayectoria (kilómetros) es el lugar que se encuentra más cerca a las demás, tal y como se ve en el siguiente resumen **(Tabla 18 Distancia entre centrales hidroeléctricas)**.

Tabla 18

Distancia entre centrales hidroeléctricas

| Distancias | |
|------------|------------------|
| Central | Total distancia* |
| C9 | 1975 |
| C10 | 2022 |
| C5 | 2058 |
| C7 | 2096 |
| C3 | 2142 |
| CA | 2276 |
| C6 | 2493 |
| C4 | 2672 |
| C2 | 2935 |
| C8 | 3432 |
| C11 | 3535 |
| C12 | 4121 |
| C1 | 5947 |

*Distancias en kilómetros de menor a mayor

Posterior al cálculo de las distancias, se continúa con el costeo; aquí se multiplican las distancias totales descritas en la anterior tabla **(Tabla 18 Distancia entre centrales hidroeléctricas)** por el precio por kilómetro recorrido. La fórmula empleada es la siguiente:

$$CostoTotalCentraln = DistanciaTotalCentraln * 2.600 \quad (1)$$

A raíz de la menor distancia para desplazarse de la Central C9 a las demás, los costos son menores para estas con un valor de \$ 5.134.480. Finalmente, la central que genera mayores costos de transporte es C1 (**Tabla 19**).

Tabla 19

Costos envíos componentes eléctricos entre centrales

| Costos | |
|----------------|----------------------|
| Central | Total costos* |
| C9 | \$ 5.134.480 |
| C10 | \$ 5.256.680 |
| C5 | \$ 5.350.800 |
| C7 | \$ 5.450.640 |
| C3 | \$ 5.396.560 |
| CA | \$ 5.916.560 |
| C6 | \$ 6.482.840 |
| C4 | \$ 6.948.240 |
| C2 | \$ 7.631.000 |
| C8 | \$ 8.351.200 |
| C11 | \$ 8.694.400 |
| C12 | \$ 10.714.600 |
| C1 | \$ 15.462.200 |

*Costos en pesos colombianos

4.3.1.5 Condiciones físicas-disponibilidad de terreno.

Un aspecto fundamental a la hora de localizar un espacio es hallar uno que cuente con el área suficiente, acceso a todas las acometidas de servicios públicos como luz y agua, que sea un terreno, plano, seguro y apto para la construcción y/o funcionamiento de actividades industriales. En materia de disponibilidad de terreno y sus condiciones se efectuó una indagación con los profesionales de Obras Civiles de las diferentes centrales para estudiar la existencia de un espacio para construir el taller de reparación de componentes eléctricos o también la posibilidad de adecuar una estructura locativa existente como taller.

Los requerimientos para relocalizar el taller en materia de Obras Civiles son los siguientes (**Tabla 20 Especificaciones terreno**):

Tabla 20

Especificaciones terreno

| | |
|---------------------------|--|
| Área necesaria del predio | 356,11 m2. |
| Tipo de terreno | Plano |
| Piso concreto no muy liso | - Área total: 322 m2 - Debe tener malla eléctrica soldada |
| Vigas | 25x20 centímetros |
| Columnas | 30x20 centímetros |

Al efectuar las comunicaciones con el personal de Obras Civiles se obtienen los siguientes hallazgos (**Tabla 21 Disponibilidad terreno centrales**):

Tabla 21

Disponibilidad terreno centrales

| Central | Disponibilidad de terreno | Observaciones |
|---------|---------------------------|--|
| C12 | ✓ | Se cuenta con una bodega vacía y dicha locación podría utilizarse y acondicionarse como taller para la reparación de componente eléctricos. Las medidas aproximadas de las bodegas son de 58 m x 32 m; El sitio donde está ubicada la bodega tiene instalaciones eléctricas. |
| C11 | ✓ | Hay disponibilidad de espacio en unas antiguas oficinas de la central, estos espacios al ser demolidos podrían convertirse en un lugar apto para construir el taller. Todos estos espacios cuentan con instalaciones eléctricas y cámaras de seguridad, así como espacio para maniobras con retrocargadora y/o vehículos para transporte de equipos. |
| CA | ✓ | Hay disponibilidad de espacios abandonados que podrían demolerse y ser aptos para construir el taller. Otra opción es remodelar y expandir el taller actual de reparación de componentes eléctricos, aunque el espacio es muy reducido. |
| C7 | ✓ | Poco espacio, pero habría donde construir el taller. |
| C3 | ✓ | Hay disponibilidad de espacios abandonados que podrían demolerse y ser aptos para construir el taller. |
| C10 | ✓ | Existencia de terrenos amplios aptos para la construcción. |
| C9 | ✓ | Existe un lote de 900 m2 apto para construcción. |
| C8 | ✓ | Poco espacio, pero habría donde construir el taller. |
| C4 | ✗ | Se tiene un espacio muy reducido y con desniveles por tanto la disponibilidad del terreno para un taller se vuelve muy complicada y se descartan estas opciones. |
| C6 | ✗ | |
| C2 | ✗ | |
| C5 | ✗ | |
| C1 | ✗ | |

4.3.1.6 Impuestos

Para este estudio se procedió a evaluar los impuestos prediales con Área Financiera de la compañía y se encontró que según la **Ley 56 de 1981** del **Instituto Geográfico Agustín Codazzi** por la cual se dictan normas sobre obras públicas de generación eléctrica, acueductos y sistemas de regadío establece que las compañías de Generación de Energía Eléctrica al haber adquirido un predio solo deben efectuar un pago de compensación por única vez en el tiempo, luego de esto no deben pagar impuestos prediales. Por tanto, este criterio se imputa del análisis al perder su efecto puesto que los predios de las centrales ya fueron comprados, además no se cuentan con avalúos recientes por parte del Área Financiera de la compañía y finalmente el objetivo de este análisis no es elegir una localización para adquirir predios nuevos sino utilizar una locación de la que ya se tenga posesión.

4.3.1.7 Condiciones ambientales

Otro de los aspectos fundamentales para definir una localización son las condiciones ambientales, puesto que la locación elegida puede a la larga sufrir o no mayor desgaste de su infraestructura y a su vez incurrir gastos de mantenimiento más altos por la inclemencia del clima. Las condiciones ambientales como la humedad relativa también pueden influir en la calidad de los trabajos industriales al producir deterioro o no de los insumos, maquinarias y equipos, tal y como lo mencionó el Profesional Ambiental de la Central Hidroeléctrica donde está ubicado el taller de reparación de componentes eléctricos. La humedad relativa se mide en porcentaje y mientras este más alto sea más nocivo será para la infraestructura.

Se buscaron los datos de humedad para las centrales y fueron proporcionados por el equipo climatológico de la compañía que tiene estaciones climatológicas en las centrales; A continuación, se presentan los valores de promedios globales de humedad relativa para las centrales hidroeléctricas que hacen parte del estudio (**Tabla 22 Humedades relativas centrales**):

Tabla 22

Humedades relativas centrales

| Central | Promedio global humedad relativa media (%) |
|------------|--|
| C1 | 83,0 |
| C12 | 79,0 |
| C11 | 89,0 |
| CA | 84,0 |
| C7 | 84,6 |
| C3 | 89,0 |
| C8 | 80,9 |
| C4 | 79,0 |
| C6 | 79,0 |
| C2 | 73,0 |
| C10 | 83,0 |
| C9 | 83,0 |
| C5 | 83,0 |

Nota. Adaptado del equipo climatológico de la compañía

Del anterior análisis se concluye que la **Central Hidroeléctrica C2** es la que mejores condiciones ambientales ofrece para relocalizar el taller, también están en un buen nivel C4, C6, C8 y C12). De lo datos obtenidos se sugiere no relocalizar desde esta óptica en C3 y C11 por tener los niveles más altos de humedad relativa.

4.3.1.8 Seguros

Según el equipo de avalúos de la compañía, el valor de reposición del taller es de \$2.150.000 por metro cuadrado (m²) a cifras del año 2017 y el total del predio del taller a relocalizar y/o construir es de 356,11 m². A partir de esta información se procede a calcular el valor de reposición total para el taller:

$$2.150.000 * 356, 11 = 765.636.500 (2)$$

Como este valor calculado de \$765.636.500 es de fecha del año 2017 se procede a actualizarlo para el año 2022 con base al índice de precios al consumidor (IPC) y el valor sería de \$976,773,086 como valor de reposición actual para el taller de reparación de componentes eléctricos de la Central Hidroeléctrica. Posterior a esto, se comunica con el Profesional de Riesgos y Seguros de la compañía, quien extrapola el valor de reposición para cada una de las 13 centrales hidroeléctricas que hacen parte de este estudio de localización (**Tabla 23 Costos seguros centrales**).

Tabla 23

Costos seguros centrales

| VALOR ASEGURABLE | \$ 976.773.086 |
|-------------------------|----------------------------|
| Central | PRIMA ANUAL SIN IVA |
| C1 | 1.474.228 |
| C11 | 1.474.228 |
| CA, C3 y C7 | 1.474.228 |
| C12 | 1.474.228 |
| C8 | 3.872.417 |
| C4 | 4.368.520 |
| C2 | 4.368.520 |
| C5 | 4.368.520 |
| C9 | 4.368.520 |
| C6 | 4.368.520 |
| C10 | 4.368.520 |

Fuente. Área de Riesgos y Seguros de la compañía

Del anterior análisis se concluye que el precio de los seguros no es muy relevante para las finanzas de la compañía en el mediano plazo, puesto que las cifras a pesar de ser diferentes no generan una diferencia muy marcada. Se incluye esta variable dentro del análisis como criterio de desempate siendo centrales hidroeléctricas C1, CA, C3, C7, C11 y C12 las que presentan el menor costo, en el intermedio está C8 y con un valor más alto se encuentran C2, C4, C5, C6, C8, C9 y C10.

4.3.2 Aplicación Métodos de Localización

A partir de la información recolectada en los numerales anteriores de Vías, Seguridad, Costos de Transporte, Condiciones Ambientales, Disponibilidad de mano de obra, Disponibilidad de terreno y Seguros se procede a utilizar dichos datos para el montaje de tres diferentes métodos: Carga-Distancia, Método Analítico-Jerárquico (AHP) y Brown & Gibson que se presentan a continuación:

4.3.2.1 Método Carga-Distancia

Uno de los aspectos a desarrollar en este estudio es encontrar el punto más equidistante entre todas las centrales hidroeléctricas de la empresa y cuál sería la facilidad o dificultad para el transporte de los componentes eléctricos, tiempos, optimización de costos, etc....; para esto se propone el Método de Carga-Distancia en donde se utilizan las rutas, capacidad de carga y distancias calculadas para cada central en el numeral **(4.3.1.4 Costos de Transporte)** y que puede ser profundizado en los anexos **(Anexo 1. Matriz Costos de Transporte)**. Las distancias recolectadas en costos de transporte y los pesos de los componentes se multiplican entre ellos en una matriz y este constituye el método de Carga-Distancia, por ejemplo, se toma el peso de los componentes eléctricos de cada central y se multiplica por los kilómetros que debe recorrer para llegar por ejemplo a C1, este ejercicio se hace por fila con la siguiente formula:

$$ValorCentraln = DistanciaParaLlegarCentral * PesoComponente \quad (3)$$

Y finalmente, la matriz de Carga-Distancia queda de la siguiente manera **(Tabla 24)**:

Tabla 24

Aplicación método carga-distancia

| Distancia entre los sitios (kilómetros)*(kilogramos) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|---------|
| Central | C1 (500) | C12 (1000) | C11 (900) | CA (700) | C7 (600) | C3 (100) | C8 (100) | C4 (80) | C6 (80) | C2 (80) | C9 (80) | C10 (100) | C5 (80) | TOTAL |
| C1 | 0 | 572000 | 299700 | 308700 | 297000 | 44200 | 65900 | 50240 | 48480 | 38000 | 35360 | 109750 | 53312 | 1922642 |
| C12 | 285500 | 0 | 288000 | 170100 | 167400 | 33000 | 35600 | 25920 | 24240 | 32160 | 26320 | 81750 | 39865 | 1209855 |
| C11 | 167000 | 320000 | 0 | 133000 | 146400 | 19100 | 41100 | 28320 | 28640 | 28560 | 15280 | 46750 | 23443 | 997593 |
| CA | 221000 | 242000 | 171000 | 0 | 29340 | 4470 | 28200 | 18000 | 11440 | 18240 | 8880 | 26750 | 13804 | 793124 |
| C7 | 248000 | 279000 | 219600 | 34230 | 0 | 5290 | 15400 | 9760 | 8080 | 16240 | 10000 | 33500 | 14637 | 893737 |
| C3 | 221500 | 330000 | 171900 | 31290 | 31740 | 0 | 23400 | 14160 | 11760 | 14400 | 5280 | 15625 | 8520,4 | 879575 |
| C8 | 329500 | 356000 | 366300 | 193900 | 91200 | 22900 | 0 | 7520 | 5760 | 18560 | 17200 | 56000 | 25347 | 1490187 |
| C4 | 301000 | 324000 | 337500 | 154000 | 72000 | 17300 | 9380 | 0 | 2112 | 14000 | 12720 | 42000 | 18683 | 1304695 |
| C6 | 302500 | 302000 | 318600 | 156100 | 59280 | 17600 | 7220 | 2112 | 0 | 14240 | 12960 | 42750 | 19040 | 1254402 |
| C2 | 231500 | 403000 | 321300 | 159600 | 156600 | 23900 | 28300 | 18080 | 18400 | 0 | 13280 | 43750 | 26537 | 1444247 |
| C9 | 223000 | 333000 | 171900 | 77700 | 75000 | 6600 | 22000 | 13040 | 13360 | 13280 | 0 | 2200 | 0 | 951080 |
| C10 | 220000 | 327000 | 169200 | 74900 | 81000 | 6250 | 22900 | 13760 | 14000 | 14000 | 704 | 0 | 1714 | 945428 |
| C5 | 223000 | 333000 | 174600 | 99400 | 50880 | 6950 | 21800 | 12880 | 13200 | 13120 | 0 | 4625 | 0 | 953455 |

Este método de localización lo que busca principalmente es darle prioridad a el lugar que tenga la mercancía más pesada y esté más cerca de los demás lugares, para que de esta manera la logística sea menos compleja. Al aplicar en su totalidad el método de carga-distancia se concluye que la opción más viable desde el punto de vista de logística de transporte es **la Central Actual (CA)** puesto que tiene una de las mercancías Por otra parte, las Centrales C11 y C12 a pesar de tener los componentes eléctricos más grandes se encuentran ubicadas más lejos de las otras centrales a comparación de la Central Actual, lo que representa una mayor logística de transporte al tener que abarcar distancias más lejanas con costos más altos y tiempo que destinar.

Tabla 25

Escala de resultados método de carga distancia

| Central | Total |
|----------------|--------------|
| CA | 793124 |
| C3 | 879575 |
| C7 | 893737 |
| C10 | 945428 |
| C9 | 951080 |
| C5 | 953455 |
| C11 | 997593 |
| C12 | 1209855 |
| C6 | 1254402 |
| C4 | 1304695 |
| C2 | 1444247 |
| C8 | 1490187 |
| C1 | 1922642 |

4.3.2.2 Método Analítico Jerárquico (AHP)

El método analítico jerárquico (AHP) consiste en asignar pesos de importancia a los diferentes criterios a estudiar para este caso los criterios son los antes mencionados: Vías de acceso, Seguridad, Disponibilidad de mano de obra, Costos de Transporte, Condiciones Ambientales, Seguros y Disponibilidad del terreno. Para asignar los pesos de importancia se utiliza la escala de valoración de Thomas L. Saaty:

Tabla 26

Escala Saaty

| Orden de prioridad | Escala |
|----------------------------------|--------|
| Extremadamente más importante | 9 |
| Muy fuertemente más importante | 7 |
| Fuertemente más importante | 5 |
| Moderadamente más importante | 3 |
| Igualmente importante | 1 |
| Moderadamente menos importante | 1/3 |
| Fuertemente menos importante | 1/5 |
| Muy fuertemente menos importante | 1/7 |
| Extremadamente menos importante | 1/9 |

Nota. Fuente Thomas L. Saaty

Se debe comparar la importancia criterio por criterio, es decir, que, frente a la filosofía de la empresa, el análisis interno y externo de la misma se recurre a un juicio de expertos que en este caso fueron el Jefe de la Central Hidroeléctrica y el Jefe de Mantenimiento de la Central donde está ubicado el taller de reparación de componentes eléctricos actualmente, quienes comparan bajo su experiencia y requerimientos criterio por criterio (la comparación se hace filas por columnas).

Por ejemplo, en la **Tabla 27 Matriz prioridad criterios** presentada a continuación, podemos ver como los costos de transporte son 1/9 menos importante que las vías de acceso- y se ubica en la fila respectiva de costos de transporte, luego, en la fila de vías de acceso vemos como se aplica la inversa y el resultado es que las vías de acceso son 9 veces más importantes que los costos de transporte, así se hace para cada uno de los criterios y se completa la matriz.

Tabla 27

Matriz prioridad criterios

| Criterios | Vías de acceso | Seguridad | Disponibilidad de mano de obra | Costos de transporte | Condiciones ambientales | Seguros | Disponibilidad del terreno |
|--------------------------------|----------------|-----------|--------------------------------|----------------------|-------------------------|---------|----------------------------|
| Vías de acceso | 1 | 1 | 1 | 9 | 3 | 9 | 1 |
| Seguridad | 1 | 1 | 1 | 9 | 3 | 9 | 1 |
| Disponibilidad de mano de obra | 1 | 1 | 1 | 5 | 3 | 9 | 1 |
| Costos de transporte | 1/9 | 1/9 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 |
| Condiciones ambientales | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 7 | 1 | 7 | 1/3 |
| Seguros | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 |
| Disponibilidad del terreno | 1 | 1 | 1 | 7 | 3 | 7 | 1 |

4.3.2.2.1 Normalización de la matriz de criterios

Finalmente, después de tener la matriz de comparación se normaliza; lo cual es sumar el total de cada columna de criterios y luego dividir cada elemento n de cada fila, es decir, que se suma toda la fila de vías de acceso y luego se divide ese total por cada peso que tiene la fila de vías de acceso; este proceso se aplica para todos los criterios:

Tabla 28

Normalización matriz criterios

| Matriz Normalizada | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,21 | 0,22 |
| 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,21 | 0,22 |
| 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,13 | 0,23 | 0,21 | 0,22 |
| 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,18 | 0,08 | 0,16 | 0,07 |
| 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,18 | 0,23 | 0,16 | 0,22 |

Luego de normalizar la matriz se procede a sacar los vectores promedio. El vector promedio es la suma de cada fila de la matriz normalizada en cada criterio:

Tabla 29

Vector promedio matriz criterios

| Criterios | Vector Promedio |
|--------------------------------|------------------------|
| Vías de acceso | 1,54 |
| Seguridad | 1,54 |
| Disponibilidad de mano de obra | 1,43 |
| Costos de transporte | 0,18 |
| Condiciones ambientales | 0,71 |
| Seguros | 0,16 |
| Condiciones físicas | 1,44 |

Después de hallar el vector promedio se procede a calcular la ponderación (W_i) que es la división del vector promedio por la suma de todos los vectores promedio de los criterios:

$$W_i = \frac{\text{Vector Promedio Criterio}}{\text{Total Suma Vectores Promedio}} \quad (4)$$

Tabla 30

Ponderación de criterios

| Criterios | Ponderación (Wi) |
|--------------------------------|-------------------------|
| Vías de acceso | 0,22 |
| Seguridad | 0,22 |
| Disponibilidad de mano de obra | 0,20 |
| Costos de transporte | 0,03 |
| Condiciones ambientales | 0,10 |
| Seguros | 0,02 |
| Condiciones físicas | 0,21 |

Cada ponderación se multiplica por el valor de 100 para obtener el porcentaje de importancia, este no es más que el peso de cada criterio según la aplicación de la escala Saaty y la creación de la matriz de importancia de criterios.

De acá se concluye que los criterios que tienen más peso en el análisis son las vías de acceso, la seguridad, las condiciones físicas y la disponibilidad de mano de obra; el resto de los criterios debido a su bajo porcentaje se convierten en criterios de desempate:

Tabla 31

Nivel de importancia criterios

| Criterios | Porcentaje |
|--------------------------------|-------------------|
| Vías de acceso | 22% |
| Seguridad | 22% |
| Condiciones físicas | 21% |
| Disponibilidad de mano de obra | 20% |
| Condiciones ambientales | 10% |
| Costos de transporte | 3% |
| Seguros | 2% |

Finalmente, se utiliza el Índice de Consistencia Aleatorio (ICA), el cual es un valor determinístico que viene dado por el número de criterios; como este análisis comprende 7 criterios y según la literatura solo hay para 6 y 8 criterios, entonces se utiliza el valor de 1,24 que es para 6 criterios:

Tabla 32

Índice de consistencia aleatoria según criterios

| n | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| ICA | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Nota. Adaptado de la literatura

Luego se procede a hallar Landa Max que es la sumatoria de la multiplicación de la suma de cada columna de cada criterio (N) por el promedio ponderado (Wi):

$$LandaMax = \sum (N * Wi) \quad (5)$$

Una vez se tiene a Landa Max se halla el índice de consistencia (IC) que es:

$$IC = \frac{(LandaMax - n)}{(n - 1)} \quad (6)$$

donde n es el número de criterios que en este caso es 7.

Finalmente, se debe calcular la razón de consistencia (RIC) que es la división del IC con ICA de la (Tabla 32) que según el número de criterios de este estudio de relocalización es igual a 1,24. El RIC asegura que los pesos no están sesgados si el valor es menor a 0,1.

Luego de aplicar cada uno de los procedimientos y fórmulas se concluye que la razón de consistencia es igual a 0,0355 y como es menor a 0,1 se concluye que el modelo no está sesgado y tiene robustez en los pesos definidos:

Tabla 33

Cálculos razón de consistencia

| | | |
|------------------------|--------------------------|------------------|
| Landa Max | $\Sigma(N*Wi)$ | 7,263965007 |
| IC | $(Landa\ max-n) / (n-1)$ | 0,043994168 |
| ICA | Según la tabla | 1,24 |
| RIC | IC/ICA | 0,0355 |
| El modelo es válido si | RIC < 0.10 | ACEPTABLE |

Nota. Adaptado de la literatura

Luego de construir la matriz de criterios, normalizarla y aplicar las pruebas de consistencia se procede con la creación de las matrices de comparación, pero para las alternativas que en este caso son las 13 centrales de generación de energía eléctrica que se tienen como candidatas para relocalizar el taller, es decir, se deben hacer 7 matrices para comparar cada central en cada criterio. De ahora en adelante los procedimientos son los mismos ya expuestos, sin embargo, a las matrices de alternativas no se les hace prueba de consistencia.

4.3.2.2.2 Vías

Tabla 34

Matriz criterio vías

| Alternativa | VÍAS: Matriz de comparación de alternativas | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| Alternativa | | | | | | | | | | | | | |
| C1 | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 3 | 3 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| C12 | 7 | 1 | 3 | 7 | 5 | 5 | 9 | 9 | 9 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| C11 | 3 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 |
| CA | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 3 | 3 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| C7 | 3 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 |
| C3 | 3 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 |
| C8 | 3 | 1/9 | 1/7 | 3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C4 | 3 | 1/9 | 1/7 | 3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C6 | 3 | 1/9 | 1/7 | 3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C2 | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 3 | 3 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C10 | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 3 | 3 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C9 | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 3 | 3 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C5 | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 3 | 3 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 |

En el criterio de Vías de acceso el ganador es C12 con un 24 % de importancia, puesto que es el único que se encuentra ubicado en una vía con buen estado y bajo riesgo; las peores calificaciones las tienen C8, C6 y C4 que al compararse con las demás tiene más procesos morfodinámicos.

Tabla 35

Resultados Matriz criterio vías

| Central | Porcentaje |
|---------|------------|
| C1 | 3% |
| C12 | 24% |
| C11 | 6% |
| CA | 3% |
| C7 | 6% |
| C3 | 6% |
| C8 | 2% |
| C4 | 2% |
| C6 | 2% |
| C2 | 11% |
| C10 | 11% |
| C9 | 11% |
| C5 | 11% |

4.3.2.2.3 Seguridad

Tabla 36

Matriz criterio seguridad

| SEGURIDAD: Matriz de comparación de alternativas | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Alternativa | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| Alternativa | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| C1 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C12 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| C11 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| CA | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| C7 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| C3 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| C8 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C4 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C6 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C2 | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C10 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| C9 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| C5 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 |

En el criterio de Seguridad ganan C12, CA, C7, C3, C10, C9 y C5 con 13 % de importancia, puesto que tienen una calificación de riesgo de seguridad al público baja. Las demás centrales que están en riesgo medio obtienen un 2 % cada una respectivamente.

Tabla 37

Resultados Matriz criterio seguridad

| Central | Porcentaje |
|---------|------------|
| C1 | 2% |
| C12 | 13% |
| C11 | 2% |
| CA | 13% |
| C7 | 13% |
| C3 | 13% |
| C8 | 2% |
| C4 | 2% |
| C6 | 2% |
| C2 | 2% |
| C10 | 13% |
| C9 | 13% |
| C5 | 13% |

4.3.2.2.4 Disponibilidad de mano de obra

Tabla 38

Matriz criterio disponibilidad de mano de obra

| | | DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA: Matriz de comparación de alternativas | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|----|----|
| Alternativa | Alternativa | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| | C1 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C12 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | C11 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | CA | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | C7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | C3 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | C8 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C4 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C6 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C2 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C10 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C9 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C5 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

En el criterio de disponibilidad de mano de obra ganan con 17 % de importancia C12, C11, CA, C7 y C3 puesto que han presentado menos inconvenientes a la hora de atraer y seleccionar personal. Las restantes quedan todas con 2 % puesto que han presentado mayores dificultades.

Tabla 39

Resultados Matriz criterio disponibilidad de mano de obra

| Central | Porcentaje |
|---------|------------|
| C1 | 2% |
| C12 | 17% |
| C11 | 17% |
| CA | 17% |
| C7 | 17% |
| C3 | 17% |
| C8 | 2% |
| C4 | 2% |
| C6 | 2% |
| C2 | 2% |
| C10 | 2% |
| C9 | 2% |
| C5 | 2% |

4.3.2.2.5 Costos de transporte

Tabla 40

Matriz criterio costos de transporte

| COSTOS DE TRANSPORTE: Matriz de comparación de alternativas | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Alternativa | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| C1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1/9 | 1/9 |
| C12 | 5 | 1 | 1/3 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/9 | 1/9 | 1/9 |
| C11 | 5 | 3 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/9 | 1/9 | 1/9 |
| CA | 9 | 7 | 5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 1/5 | 1/3 | 1/3 |
| C7 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1 | 5 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1/3 | 1 |
| C3 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1 | 5 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1/3 | 1 |
| C8 | 5 | 3 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| C4 | 7 | 5 | 3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| C6 | 7 | 5 | 3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| C2 | 7 | 5 | 3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| C10 | 9 | 9 | 9 | 3 | 1 | 1 | 7 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| C9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 3 | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 1 | 1 | 1 |
| C5 | 9 | 9 | 9 | 3 | 1 | 1 | 7 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 |

En el criterio de Costos de Transporte, el ganador es C9 con 21 % de importancia puesto que es el lugar más equidistante entre las demás centrales de generación hidroeléctricas:

Tabla 41

Resultados Matriz criterio costos de transporte

| Central | Porcentaje |
|---------|------------|
| C1 | 1% |
| C12 | 2% |
| C11 | 2% |
| CA | 7% |
| C7 | 11% |
| C3 | 11% |
| C8 | 2% |
| C4 | 4% |
| C6 | 4% |
| C2 | 4% |
| C10 | 15% |
| C9 | 21% |
| C5 | 15% |

4.3.2.2.6 Condiciones ambientales

Tabla 42

Matriz criterio condiciones ambientales

| CONDICIONES AMBIENTALES: Matriz de comparación de alternativas | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Alternativa | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| C1 | 1 | 1/3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 1 | 1 |
| C12 | 3 | 1 | 7 | 3 | 3 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 3 | 3 | 3 |
| C11 | 1/5 | 1/7 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| CA | 1 | 1/3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 1 | 1 |
| C7 | 1 | 1/3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 1 | 1 |
| C3 | 1/5 | 1/7 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| C8 | 3 | 1 | 7 | 1 | 1 | 7 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1 | 1 | 1 |
| C4 | 3 | 1 | 7 | 3 | 3 | 7 | 3 | 1 | 1 | 1/5 | 3 | 3 | 3 |
| C6 | 3 | 1 | 7 | 3 | 3 | 7 | 3 | 1 | 1 | 1/5 | 3 | 3 | 3 |
| C2 | 7 | 5 | 9 | 7 | 7 | 9 | 7 | 5 | 5 | 1 | 7 | 7 | 7 |
| C10 | 1 | 1/3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1 | 1 | 1 |
| C9 | 1 | 1/3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1 | 1 | 1 |
| C5 | 1 | 1/3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1 | 1 | 1 |

C2 se convierte de lejos en el ganador en materia de condiciones ambientales con 31 % de importancia puesto que es la central que menores porcentajes de humedad relativa ha presentado. Por su parte, C3 y C11 son las que más humedad relativa han tenido en el tiempo:

Tabla 43

Resultados Matriz condiciones ambientales

| Central | Porcentaje |
|---------|------------|
| C1 | 4% |
| C12 | 10% |
| C11 | 1% |
| CA | 5% |
| C7 | 5% |
| C3 | 1% |
| C8 | 6% |
| C4 | 11% |
| C6 | 11% |
| C2 | 31% |
| C10 | 5% |
| C9 | 5% |
| C5 | 5% |

4.3.2.2.7 Seguros

Tabla 44

Matriz criterio seguros

| SEGUROS: Matriz de comparación de alternativas | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|----|----|
| Alternativa | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| C1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| C12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| C11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| CA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| C7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| C3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| C8 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| C4 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C6 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C2 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C10 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C9 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C5 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Los seguros arrojan tres tipos de resultados, por un lado, están las centrales con valores bajos que son quienes ganan en este criterio con un valor del 14 %, hay una de valor intermedio y el resto tienen un valor más alto de prima de seguro y por ende obtienen un promedio ponderado de 2% en este criterio.

Tabla 45

Resultados Matriz criterio seguros

| Central | Porcentaje |
|---------|------------|
| C1 | 14% |
| C12 | 14% |
| C11 | 14% |
| CA | 14% |
| C7 | 14% |
| C3 | 14% |
| C8 | 4% |
| C4 | 2% |
| C6 | 2% |
| C2 | 2% |
| C10 | 2% |
| C9 | 2% |
| C5 | 2% |

4.3.2.2.8 Condiciones físicas-Disponibilidad del terreno

Tabla 46

Matriz criterio disponibilidad del terreno

| DISPONIBILIDAD DEL TERRENO: Matriz de comparación de alternativas | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|----|
| Alternativa | C1 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C4 | C6 | C2 | C10 | C9 | C5 |
| C1 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 |
| C12 | 9 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 9 |
| C11 | 9 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 9 |
| CA | 9 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 9 |
| C7 | 3 | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1/3 | 1/3 | 3 |
| C3 | 3 | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1/3 | 1/3 | 3 |
| C8 | 3 | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1/5 | 1/5 | 3 |
| C4 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 |
| C6 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 |
| C2 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 |
| C10 | 5 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| C9 | 5 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| C5 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 |

En este criterio se asigna la menor calificación para las centrales que no tienen espacio y así obtienen un valor del 2%. En las Centrales C12, C11 y CA se cuenta con bastante disponibilidad de terreno, por esto ganan de lejos con un valor del 21 % respectivamente:

Tabla 47

Resultados Matriz disponibilidad del terreno

| Central | Porcentaje |
|----------------|-------------------|
| C1 | 2% |
| C12 | 21% |
| C11 | 21% |
| CA | 21% |
| C7 | 4% |
| C3 | 4% |
| C8 | 4% |
| C4 | 2% |
| C6 | 2% |
| C2 | 2% |
| C10 | 7% |
| C9 | 7% |
| C5 | 2% |

A continuación, se presentan los resultados finales del Método AHP en una matriz de comparación que reúne la calificación promedio ponderada de todas las centrales en todos los criterios analizados (**Tabla 48**).

4.3.2.2.9 Resultados finales Método AHP

Tabla 48

Resultados finales Método AHP

| Matriz de comparación de criterios localización taller de reparación de componentes eléctricos | | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------|----------------------------|--------------|-------------|
| Criterio | Vías de acceso | Seguridad | Disponibilidad de mano de obra | Costos de transporte | Condiciones ambientales | Seguros | Disponibilidad del terreno | Priorización | Porcentaje |
| Alternativa | | | | | | | | | |
| C1 | 0,028518551 | 0,0181818 | 0,0188679 | 0,009 | 0,044097177 | 0,14 | 0,02 | 0,03 | 3% |
| C12 | 0,240652633 | 0,1272727 | 0,1698113 | 0,015 | 0,104176133 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 17% |
| C11 | 0,05902142 | 0,0181818 | 0,1698113 | 0,022 | 0,012554048 | 0,14 | 0,21 | 0,10 | 10% |
| CA | 0,028518551 | 0,1272727 | 0,1698113 | 0,073 | 0,046584297 | 0,14 | 0,21 | 0,12 | 12% |
| C7 | 0,05902142 | 0,1272727 | 0,1698113 | 0,111 | 0,046584297 | 0,14 | 0,04 | 0,10 | 10% |
| C3 | 0,059021420 | 0,1272727 | 0,1698113 | 0,111 | 0,012554048 | 0,14 | 0,04 | 0,09 | 9% |
| C8 | 0,023449549 | 0,0181818 | 0,0188679 | 0,023 | 0,060176212 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 3% |
| C4 | 0,023449549 | 0,0181818 | 0,0188679 | 0,043 | 0,111637494 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 3% |
| C6 | 0,023449549 | 0,0181818 | 0,0188679 | 0,043 | 0,111637494 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 3% |
| C2 | 0,113724339 | 0,0181818 | 0,0188679 | 0,043 | 0,314650834 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 7% |
| C10 | 0,113724339 | 0,1272727 | 0,0188679 | 0,147 | 0,045115988 | 0,02 | 0,07 | 0,08 | 8% |
| C9 | 0,113724339 | 0,1272727 | 0,0188679 | 0,213 | 0,045115988 | 0,02 | 0,07 | 0,08 | 8% |
| C5 | 0,113724339 | 0,1272727 | 0,0188679 | 0,147 | 0,045115988 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 7% |
| Ponderación | 0,22 | 0,22 | 0,20 | 0,03 | 0,10 | 0,02 | 0,21 | 1 | 100% |

Finalmente se crea la matriz de comparación entre criterios y alternativas, esta se calcula con los resultados de priorización que obtuvo cada central en cada criterio. Se aplica suma producto para cada fila de cada central respectiva y así se halla el porcentaje de priorización:

Tabla 49

Resultados finales ponderados Método AHP

| Central | Porcentaje |
|----------------|-------------------|
| C12 | 17% |
| CA | 12% |
| C11 | 10% |
| C7 | 10% |
| C3 | 9% |
| C10 | 8% |
| C9 | 8% |
| C2 | 7% |
| C5 | 7% |
| C8 | 3% |
| C4 | 3% |
| C6 | 3% |
| C1 | 3% |

Se concluye que el taller debe relocalizarse en la Central C12 puesto que esta representa el 17 % de importancia respecto al global de todos los criterios; este central sobresalió en materia de vías, disponibilidad de terreno, disponibilidad de mano de obra y seguridad; por tanto, se vuelve una excelente opción por la gran capacidad de infraestructura que tiene y la facilidad de acceso vial.

4.3.2.3 Método Brown & Gibson

Finalmente, se aplica el método de Brown & Gibson el cual es un análisis de factores críticos, objetivos y subjetivos. Acá el ganador es quien obtenga el valor más alto de MPL (Media de preferencia de localización). Por factores críticos se tiene la disponibilidad del terreno y es que si la central no tiene espacio para hacer el taller simplemente se descarta inmediatamente del análisis; a las que tienen espacio se les asigna un valor de uno y a las que no se tachan y se les pone cero:

4.3.2.3.1 Factores críticos

Tabla 50

Factores críticos método de Brown & Gibson

| FACTORES CRÍTICOS | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|-----|-----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|
| Disponibilidad del terreno | Alternativas | | | | | | | | | | | | |
| | C9 | C12 | C11 | CA | C7 | C3 | C8 | C10 | C1 | C2 | C3 | C5 | C6 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Las fórmulas para hallar el MPL serán las siguientes: Se tiene que **K** es el porcentaje de importancia de los factores objetivos (**Foi**) y **(1-K)** es el porcentaje de importancia de los factores subjetivos.

Para la compañía serán más importantes los factores subjetivos con un 85 %, en su inversa estarán los factores subjetivos con un 15 %.

Tabla 51

Datos para método de Brown & Gibson

| DATOS DEL MODELO | |
|--|------|
| Medida de preferencia de la localización (MPL) | |
| $MPL_i = K(FO_i) + (1 - K) * (FSI)$ | |
| VALORES | |
| K | 0,15 |
| (1-K) | 0,85 |

Nota. Adaptado de la literatura para este estudio

4.3.2.3.2 Factores objetivos (FOi)

Los factores objetivos son la suma de costos de transporte más la prima de seguros de cada central:

Tabla 52

Costos totales para método de Brown & Gibson

| Central | Ci |
|---------|---------------|
| C12 | \$ 10.911.318 |
| C11 | \$ 9.569.378 |
| CA | \$ 6.685.352 |
| C7 | \$ 6.274.984 |
| C3 | \$ 6.378.492 |
| C8 | \$ 11.731.697 |
| C10 | \$ 8.998.442 |
| C9 | \$ 8.890.812 |

Se dividió 1 por el valor de los factores objetivos para hallar el factor objetivo:

Tabla 53

Resultado factores objetivo método de Brown & Gibson

| Servicio | Costos | | Factor |
|--------------|----------|-------------|-------------|
| Central | Ci | 1/Ci | Foi |
| C12 | 10911318 | 9,1648E-08 | 0,094412962 |
| C11 | 9569378 | 1,045E-07 | 0,107652749 |
| CA | 6685352 | 1,49581E-07 | 0,154093584 |
| C7 | 6274984 | 1,59363E-07 | 0,164170913 |
| C3 | 6378492 | 1,56777E-07 | 0,161506803 |
| C8 | 11731697 | 8,52392E-08 | 0,087810813 |
| C10 | 8998442 | 1,1113E-07 | 0,114483135 |
| C9 | 8890812 | 1,12476E-07 | 0,11586904 |
| Total | | 9,70714E-07 | 1 |

4.3.2.3.3 Factores subjetivos (FSi)

A los factores subjetivos también se les asigna un peso de importancia sobre el 100 %:

Tabla 54

Escala de valoración para factores subjetivos del método Brown & Gibson

| Factor | Índice de importancia relativa (Wj) |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Vías | 2/7 |
| Seguridad | 2/7 |
| Recursos y ambiente | 1/7 |
| Disponibilidad de mano de obra | 1/4 |

Luego se evalúa cada criterio subjetivo en la **Tabla 55**, si está bien en el aspecto la central se le asigna un valor de uno, sino entonces se pone cero y luego se multiplica por el índice de importancia relativa (W_j) para hallar R_{ij} que es el factor de importancia subjetivo:

Tabla 55

Resultados factores subjetivos del método Brown & Gibson

| FACTORES SUBJETIVOS (Fsi) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|------|-----|--------------|------|------|-------------------------|------|-----|--------------------------------|------|-----|
| Factor | Vías | | | Seguridad | | | Condiciones ambientales | | | Disponibilidad de mano de obra | | |
| | Comparación | Suma | Rij | Comparación | Suma | Rij | Comparación | Suma | Rij | Comparación | Suma | Rij |
| C12 | 1 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 0,17 | 1 | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 0,2 |
| C11 | 1 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 0,2 |
| CA | 0 | 0 | 0,0 | 1 | 1 | 0,17 | 1 | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 0,2 |
| C7 | 0 | 0 | 0,0 | 1 | 1 | 0,17 | 1 | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 0,2 |
| C3 | 0 | 0 | 0,0 | 1 | 1 | 0,17 | 1 | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 0,2 |
| C8 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0,0 |
| C10 | 1 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 0,17 | 1 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0,0 |
| C9 | 1 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 0,17 | 1 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0,0 |
| | Total | 4 | 1 | Total | 6 | 1 | Total | 8 | 1 | Total | 5 | 1 |

4.3.2.3.4 Resultados finales del método de Brown & Gibson

A continuación, se presentan los resultados finales de cada central en cada factor objetivo y subjetivo:

Tabla 56

Resultados factores objetivos y subjetivos del método Brown & Gibson

| Central | FO _i | FS _i |
|---------|-----------------|-----------------|
| C12 | 0,094412962 | 0,194 |
| C11 | 0,107652749 | 0,144 |
| CA | 0,154093584 | 0,119 |
| C7 | 0,164170913 | 0,119 |
| C3 | 0,161506803 | 0,119 |
| C8 | 0,087810813 | 0,019 |
| C10 | 0,114483135 | 0,144 |
| C9 | 0,11586904 | 0,144 |

Con los valores de cada factor objetivo y subjetivo se aplica la fórmula para hallar el MPL para cada central:

Tabla 57

Cálculo del MPL

| | |
|--|------|
| $MPL_i = 0,15(FO_{Centraln}) + 0,85 * (FS_{Centraln})$ | |
| VALORES DE IMPORTANCIA | |
| K | 0,15 |
| (1-K) | 0,85 |

Finalmente se calcula el MPL y se encuentra que desde este método la mejor opción de localización del taller es C12 con un valor de 0,179 por su buena calificación en vías de acceso, seguridad, disponibilidad de mano de obra y desde luego la disponibilidad del terreno.

Tabla 58

Resultado MPL (ganador método Brown & Gibson)

| MPL | |
|-----|-------|
| C12 | 0,179 |
| C11 | 0,138 |
| CA | 0,124 |
| C7 | 0,126 |
| C3 | 0,125 |
| C8 | 0,029 |
| C10 | 0,139 |
| C9 | 0,140 |

4.4 Síntesis Planeación Estratégica y Análisis de Riesgos Operacionales

La aplicación de diferentes herramientas y métodos de la Ingeniería Industrial permitió el desarrollo de una Planeación Estratégica para el taller de reparación de componentes eléctricos, desglosando las necesidades, retos, oportunidades, amenazas y dificultades del presente y el futuro. Esta Planeación Estratégica agrupó el análisis externo, interno y de la filosofía de la empresa a partir de la búsqueda y sistematización de la información; los cuales fueron el insumo para el Análisis de Riesgos Operacionales que define, detalla y gestiona los diferentes riesgos a los que está expuesto el taller en diferentes dimensiones y que de esta manera se convierte en una hoja de ruta a seguir día a día para lograr los objetivos trazados en el taller.

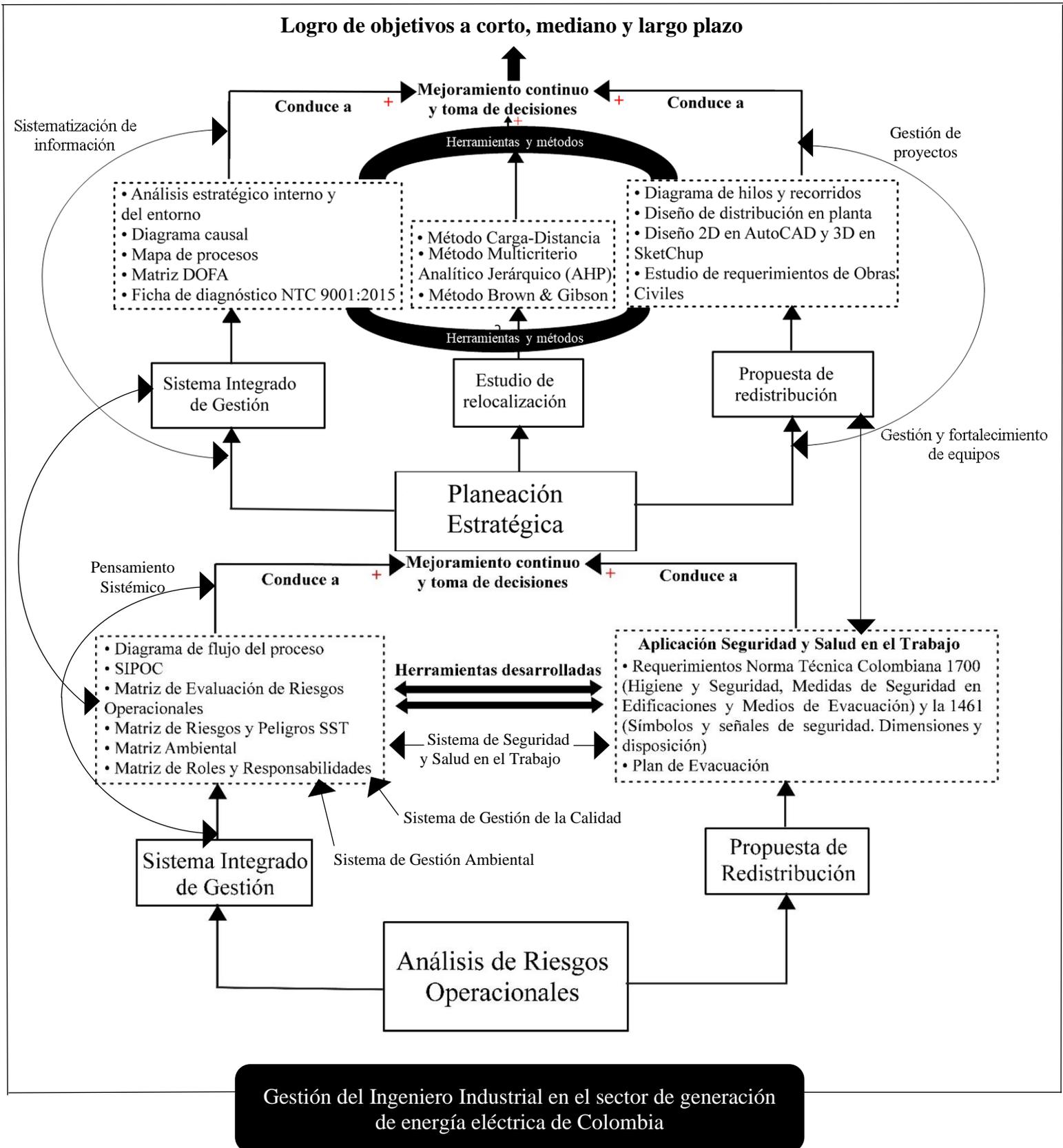
El tener bien definido el marco a seguir del proceso de reparación de componentes eléctricos y sus respectivos riesgos permitió generar mecanismos para el trabajo organizado, colaborativo e interdisciplinario, además de la toma de decisiones; entendiendo que el sector de generación de energía eléctrica de Colombia y las organizaciones en general no funcionan como islas sino que son procesos totalmente interrelacionados y conectados, de ahí la importancia del pensamiento sistémico del Ingeniero Industrial que gracias a su formación diversa en áreas de calidad, producción, logística, gestión y fortalecimiento de equipos, administración, finanzas, desarrollo sostenible, seguridad y salud en el trabajo y cultura científica es capaz de articular diferentes aristas de una empresa en un solo panorama que se llama Sistema Integrado de Gestión el cual reúne un modelo de trabajo organizado e interconectado para salvaguardar la política de la calidad, el ambiente y la seguridad y salud en el trabajo en cada paso, actividad y decisión que se toma.

Además el Ingeniero Industrial tiene los elementos y capacidades necesarias para aplicar herramientas y métodos ya sean cualitativos o cuantitativos para la Formulación, Evaluación y Gestión de Proyectos; evidencia de esto fue la creación de la Propuesta de Redistribución y el Estudio de Relocalización del taller que definen una metodología y un marco dentro de la empresa para la generación de nuevos proyectos de este tipo; es así como suponen un hito al definir los instrumentos para la búsqueda de información, sistematización, gestión de equipos y diferentes áreas del conocimiento, así como la aplicación de diferentes métodos, modelos y diseños que promueven el Mejoramiento Continuo al potenciar las oportunidades, asumir los retos y mitigar y/o controlar los riesgos de la Planeación Estratégica que tiene una organización, en este caso del sector de generación de energía eléctrica de Colombia.

A continuación, se detallan en el siguiente esquema las herramientas, métodos y sistemas de gestión aplicados en marco de la Planeación Estratégica y el Análisis de Riesgos Operacionales en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia desde la Ingeniería Industrial (**Figura 15**):

Figura 15

Esquema del Alcance de Gestión del Ingeniero Industrial en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia



6 Conclusiones

La Planeación Estratégica por medio del análisis interno, externo y de la filosofía de la empresa frente al taller de reparación de componentes eléctricos permitió identificar y reconocer los riesgos operacionales, estableciendo un marco de aplicación de diferentes herramientas de la Ingeniería Industrial y otras áreas del conocimiento para la elaboración del Sistema Integrado de Gestión que agrupa la calidad, medio ambiente y seguridad y salud en el trabajo y que posibilita la toma de decisiones en el día a día, a mediano y largo plazo frente a los desafíos, problemáticas y oportunidades de un mundo cada vez más cambiante.

El Análisis de Riesgos Operacionales logró evidenciar la importancia del pensamiento sistémico en una organización, al dictaminar que un riesgo de cualquier tipo va ligado con el cumplimiento o no de objetivos corporativos de una organización, demostrando que un mundo cada vez más interrelacionado e interconectado las áreas no pueden funcionar como islas, sino que los procesos deben articularse horizontalmente y propiciar los flujos de comunicación y gestión.

El Sistema Integrado de Gestión generó un modelo de trabajo organizado y colaborativo, definiendo responsabilidades, tiempos, indicadores, metas y objetivos; convirtiéndose así en una hoja de ruta para replicarse a otros procesos, talleres o centrales donde se quieran estandarizar y/o integrar al resto de sistemas para robustecer el modelo de gestión y posibilitar así el mejoramiento continuo.

Se desarrolló la Propuesta de Redistribución del taller de reparación de componentes eléctricos con sus respectivos estudios de Ingeniería del Trabajo pero a la vez se demostró que el Ingeniero Industrial puede ir más allá y así no sea especialista en muchas áreas; por medio de la gestión de equipos de otras ramas del conocimiento, la investigación y la sistematización de información se lograron desarrollar los requerimientos de Obras Civiles, Seguridad y Salud en el Trabajo y tener un nuevo modelo de taller para llevar a la realidad con todos los requisitos ambientales, ocupacionales y de calidad.

Frente al Estudio de Relocalización, se dictaminó desde el método de Carga-Distancia dejar el taller en la Central donde está actualmente ubicado, puesto que se obtuvo el menor valor carga-distancia, es decir, que es una de las centrales que tiene los componentes más grandes y queda más equidistante del resto de centrales de generación, la Central Actual queda por encima de las que tienen componentes más pesados puesto que ellas están más lejos de las demás centrales. Desde el método AHP y Brown & Gibson se halló que debe relocalizarse el taller en la Central C12 tras obtener el mayor valor MPL (Media de preferencia de localización) y también el porcentaje de Ponderación (W_i) más grande, esto debido al tener una gran disponibilidad de terreno, unos costos medidos y muy buena calificación en materia de vías de acceso, disponibilidad de mano de obra y seguridad. Se dictamina que la empresa de generación de energía debe analizar nuevamente su estrategia frente al taller con la información proporcionada puesto que se presentan dos panoramas a elegir, el primero es que si se piensa a corto plazo y solo se atiende la demanda actual la mejor decisión es seguir conservando el taller donde está hoy en día por los hallazgos encontrados en el desarrollo del estudio; el segundo panorama es una estrategia a largo plazo de cobertura para todas las centrales, es decir, que si se comienza a reparar componentes de todas las centrales, el taller debe llevarse a la Central C12 porque va a ser más fácil allí abarcar la reparación de toda la compañía al ofrecer una gran infraestructura en materia de vías, seguridad, condiciones ambientales y una bodega donde fácilmente se podrá adaptar todo el mobiliario y distribución requerida para entrar en operación como un taller de reparación de componentes eléctricos.

7 Recomendaciones

Desde la óptica de la Ingeniería Industrial y la experiencia desarrollada con la aplicación de las diferentes herramientas, métodos y sistemas de gestión se recomienda a la empresa de generación de energía eléctrica donde se llevó a cabo este proyecto el robustecer la sensibilización, formación y proyección del Sistema Integrado de Gestión, ya que si bien se tiene Sistema de Gestión de la Calidad, Gestión Ambiental y Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo a nivel de toda la compañía; estos tres funcionan como islas separadas y dentro de los colaboradores no se ha difundido el pensamiento crítico y sistémico frente a lo interrelacionados que están todas las áreas de la compañía y la misma interdependencia que tienen; los flujos de información son complicados de elevar entre un área y otra, es decir, que si un área hace un requerimiento de su campo hacia otra, este no es tomado con igual importancia en el área solicitada, por tanto, es esencial el comprender y dimensionar que un factor de carácter ambiental puede deteriorar los avances y logros a nivel de calidad y/o seguridad ocupacional, y del mismo modo en sentido contrario.

Finalmente se recomienda a nivel general de cualquier empresa del sector de generación de energía eléctrica tener los siguientes indicadores de gestión expuestos en el (**Anexo 2. Indicadores de gestión para el sector de generación de energía eléctrica**) para la toma de decisiones, análisis de riesgos operacionales, análisis interno, planeación de la estrategia y/o informes de gestión. Estos indicadores pueden ser monitoreados desde un tablero de control en Power BI u otra herramienta de preferencia de la organización.

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica
- Dominguez, M., Álvarez, J., Domínguez, M. A., García, S., & Ruiz, A. (1995). *Dirección de operaciones* (pp. 105-107). México: McGraw-Hill.
- Florian Marin, J. J., & Gil Hernández, J. F. (2016). *Propuesta de modelo de estandarización de los procesos productivos como base para la implementación de un sistema de gestión de calidad en la empresa Mecanizamos FMSAS*.
- García, I. L. A. M. (2007). *Indicadores de la gestión logística KPI "Los indicadores claves del desempeño logístico"*.
- Guzmán, N. A., & Castaño, J. S. (2013). *Estudio de métodos y tiempos de la línea de producción de calzado tipo "clásico de dama" en la empresa de calzado Caprichosa para definir un nuevo método de producción y determinar el tiempo estándar de fabricación* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial. Ingeniería Industrial).
- Harrington, H. J. (1993). *Mejoramiento de los procesos de la empresa*. In *Mejoramiento de los Procesos de la Empresa* (pp. sp-sp).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1987). *Norma Técnica Colombiana 1461 Higiene y Seguridad. Colores y Señales de Seguridad*. Bogotá, Colombia: ICONTEC
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1982). *Norma Técnica Colombiana 1700 Higiene y Seguridad. Medidas de Seguridad en Edificaciones. Medios de Evacuación*. Bogotá, Colombia: ICONTEC
- International Organization for Standardization. (2000). *Document management — (ISO.9000:2000)*.
- International Organization for Standardization. (2015). *Document management — (ISO. 9000:2015)*.
- Ley 56 de 1981*. (s/f). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado el 26 de diciembre de 2022, de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/ley_56_de_1981.pdf
- Machicado, F. C., & Quiroga, M. G. (2016). *Estudio de localización de un proyecto*. *Odontología Actual*, 7(11), 29-33.
- Mineducacion.gov.co. 2009. *CNA - Sistema de Mejoramiento Continuo*. [online] Available at: <[https://www.mineducacion.gov.co/CNA/1741/article-186379.html#:~:text=El%20mejoramiento%20continuo%20\(o%20garant%C3%ADa,su%20mantenimiento%20y%20mejora%2022](https://www.mineducacion.gov.co/CNA/1741/article-186379.html#:~:text=El%20mejoramiento%20continuo%20(o%20garant%C3%ADa,su%20mantenimiento%20y%20mejora%2022)> [Accessed 28 July 2022].
- Palma, R. J. C., Merizalde, C. K. B., & Flores, F. M. F. (2018). *Sistema de gestión y control de la calidad: Norma ISO 9001: 2015*. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(1), 625-644.
- Ramírez, A., & Rivera, H. (2009). *El mejoramiento continuo*. Universidad del Rosario, Centro de estudios Empresariales para la perdurabilidad (CEEP). Documento de Investigación, 47.
- Rase, Howard.F. (1984). *"Ingeniería de proyectos para plantas de proceso"*. EditContinental, 9na. Edic. México.
- Ríos-Ortíz, E. L., Perdomo, M. C., Pinedo, D., Sánchez-Márquez, J. M., & Mora- Palacio, C. A. (2003). *La distribución en planta como herramienta competitiva en las empresas de servicio*. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (28), 132–141. Retrieved from <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/326431>
- Rodríguez, F., & Gómez Bravo, L. (1991). *Indicadores de calidad y productividad de la empresa*. Yáñez, C. (2008). *Sistema de gestión de calidad en base a la norma ISO 9001*. *Internacional eventos*, 9, 1-9.

Anexos

Anexo 1. Matriz Costos Transporte

A continuación, se presentan las tablas con las que se calcularon los costos de transporte entre una central a partir del precio por kilómetro de transporte y las distancias obtenidas aparte de Google Earth. Se multiplican las distancias descritas en las tablas que se presentan a continuación y la fórmula empleada es la siguiente:

$$\text{CostoTotalCentraln} = \text{DistanciaTotalHaciaLaCentraln} * \text{CostoPorKm} \quad (4)$$

Central 1

| De C1 a... | Distancia en km | Costo trayecto |
|------------|-----------------|----------------|
| C11 | 334 | \$ 868.400 |
| C4 | 602 | \$ 1.565.200 |
| C6 | 605 | \$ 1.573.000 |
| C2 | 463 | \$ 1.203.800 |
| C10 | 440 | \$ 1.144.000 |
| C12 | 571 | \$ 1.484.600 |
| C5 | 446 | \$ 1.159.600 |
| C7 | 496 | \$ 1.289.600 |
| C3 | 443 | \$ 1.151.800 |
| CA | 442 | \$ 1.149.200 |
| C9 | 446 | \$ 1.159.600 |
| C8 | 659 | \$ 1.713.400 |

Resultados Central 1

| | |
|------------------------|---------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 5947 |
| Total costos | \$ 15.462.200 |

Central 2

| De C2 a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C11 | 357 | \$ 928.200 |
| C4 | 175 | \$ 455.000 |
| C6 | 178 | \$ 462.800 |
| C8 | 232 | \$ 603.200 |
| C1 | 475 | \$ 1.235.000 |
| C12 | 402 | \$ 1.045.200 |
| C5 | 164 | \$ 426.400 |
| C7 | 203 | \$ 527.800 |
| C3 | 180 | \$ 468.000 |
| CA | 228 | \$ 592.800 |
| C9 | 166 | \$ 431.600 |
| C10 | 175 | \$ 455.000 |

Resultados Central 2

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2935 |
| Total costos | \$ 7.631.000 |

Central 3

| De C3 a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C1 | 442 | \$ 1.149.200 |
| C12 | 330 | \$ 858.000 |
| C2 | 239 | \$ 621.400 |
| C8 | 229 | \$ 595.400 |
| C11 | 191 | \$ 496.600 |
| C6 | 176 | \$ 457.600 |
| C4 | 173 | \$ 449.800 |
| C5 | 69,5 | \$ 180.700 |
| C9 | 66 | \$ 171.600 |
| C10 | 62,5 | \$ 162.500 |
| C7 | 52,9 | \$ 137.540 |
| CA | 44,7 | \$ 116.220 |

Resultados Central 3

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2076 |
| Total costos | \$ 5.396.560 |

Central 4

| De C4 a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C11 | 354 | \$ 920.400 |
| C8 | 94 | \$ 244.400 |
| C6 | 26,4 | \$ 68.640 |
| C2 | 226 | \$ 587.600 |
| C1 | 628 | \$ 1.632.800 |
| C12 | 324 | \$ 842.400 |
| C5 | 161 | \$ 418.600 |
| C7 | 122 | \$ 317.200 |
| C3 | 177 | \$ 460.200 |
| CA | 225 | \$ 585.000 |
| C9 | 163 | \$ 423.800 |
| C10 | 172 | \$ 447.200 |

Resultados Central 4

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2672 |
| Total costos | \$ 6.948.240 |

Central 5

| C5 a... | Distancia | Costo trayecto |
|---------|-----------|----------------|
| C11 | 197 | \$ 512.200 |
| C4 | 157 | \$ 408.200 |
| C6 | 160 | \$ 416.000 |
| C2 | 223 | \$ 579.800 |
| C1 | 448 | \$ 1.164.800 |
| C12 | 335 | \$ 871.000 |
| C8 | 213 | \$ 553.800 |
| C7 | 123 | \$ 319.800 |
| C3 | 71,6 | \$ 186.160 |
| CA | 116 | \$ 301.600 |
| C9 | 0 | \$ 0 |
| C10 | 14,4 | \$ 37.440 |

Resultados Central 5

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2058 |
| Total costos | \$ 5.350.800 |

Central 6

| De C6 a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C11 | 358 | \$ 930.800 |
| C4 | 26,4 | \$ 68.640 |
| C8 | 72 | \$ 187.200 |
| C2 | 230 | \$ 598.000 |
| C1 | 606 | \$ 1.575.600 |
| C12 | 303 | \$ 787.800 |
| C5 | 165 | \$ 429.000 |
| C7 | 101 | \$ 262.600 |
| C3 | 147 | \$ 382.200 |
| CA | 143 | \$ 371.800 |
| C9 | 167 | \$ 434.200 |
| C10 | 175 | \$ 455.000 |

Resultados Central 6

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2493 |
| Total costos | \$ 6.482.840 |

Central 7

| De C7 a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C1 | 495 | \$ 1.287.000 |
| C12 | 279 | \$ 725.400 |
| C2 | 261 | \$ 678.600 |
| C11 | 244 | \$ 634.400 |
| C8 | 152 | \$ 395.200 |
| C10 | 135 | \$ 351.000 |
| C9 | 125 | \$ 325.000 |
| C4 | 120 | \$ 312.000 |
| C6 | 98,8 | \$ 256.880 |
| C5 | 84,8 | \$ 220.480 |
| C3 | 52,9 | \$ 137.540 |
| CA | 48,9 | \$ 127.140 |

Resultados Central 7

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2096 |
| Total costos | \$ 5.450.640 |

Central 8

| De C8 a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C11 | 411 | \$ 1.068.600 |
| C4 | 93,8 | \$ 243.880 |
| C6 | 72,2 | \$ 187.720 |
| C2 | 283 | \$ 735.800 |
| C1 | 659 | \$ 1.713.400 |
| C12 | 356 | \$ 925.600 |
| C5 | 218 | \$ 566.800 |
| C7 | 154 | \$ 400.400 |
| C3 | 234 | \$ 608.400 |
| CA | 282 | \$ 733.200 |
| C9 | 220 | \$ 572.000 |
| C10 | 229 | \$ 595.400 |

Resultados Central 8

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 3212 |
| Total costos | \$ 8.351.200 |

Central 9

| De C9 a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C11 | 191 | \$ 496.600 |
| C4 | 159 | \$ 413.400 |
| C6 | 162 | \$ 421.200 |
| C2 | 166 | \$ 431.600 |
| C1 | 442 | \$ 1.149.200 |
| C12 | 329 | \$ 855.400 |
| C5 | 0 | \$ 0 |
| C7 | 125 | \$ 325.000 |
| C3 | 66 | \$ 171.600 |
| CA | 111 | \$ 288.600 |
| C8 | 215 | \$ 559.000 |
| C10 | 8,8 | \$ 22.880 |

Resultados Central 9

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 1975 |
| Total costos | \$ 5.134.480 |

Central 10

| De C10 a... | Distancia | Costo trayecto |
|-------------|-----------|----------------|
| C11 | 187 | \$ 486.200 |
| C4 | 168 | \$ 436.800 |
| C6 | 171 | \$ 444.600 |
| C2 | 175 | \$ 455.000 |
| C1 | 439 | \$ 1.141.400 |
| C12 | 327 | \$ 850.200 |
| C5 | 18,5 | \$ 48.100 |
| C7 | 134 | \$ 348.400 |
| C3 | 62,5 | \$ 162.500 |
| CA | 107 | \$ 278.200 |
| C9 | 8,8 | \$ 22.880 |
| C8 | 224 | \$ 582.400 |

Resultados Central 10

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2022 |
| Total costos | \$ 5.256.680 |

Central 11

| De C11 a... | Distancia | Costo trayecto |
|-------------|-----------|----------------|
| C8 | 407 | \$ 1.058.200 |
| C4 | 375 | \$ 975.000 |
| C6 | 354 | \$ 920.400 |
| C2 | 357 | \$ 928.200 |
| C1 | 333 | \$ 865.800 |
| C12 | 320 | \$ 832.000 |
| C5 | 194 | \$ 504.400 |
| C7 | 244 | \$ 634.400 |
| C3 | 191 | \$ 496.600 |
| CA | 190 | \$ 494.000 |
| C9 | 191 | \$ 496.600 |
| C10 | 188 | \$ 488.800 |

Resultados Central 11

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 3344 |
| Total costos | \$ 8.694.400 |

Central 12

| De C12 a... | Distancia | Costo trayecto |
|-------------|-----------|----------------|
| C11 | 320 | \$ 832.000 |
| C4 | 324 | \$ 842.400 |
| C6 | 302 | \$ 785.200 |
| C2 | 403 | \$ 1.047.800 |
| C1 | 572 | \$ 1.487.200 |
| C10 | 327 | \$ 850.200 |
| C5 | 333 | \$ 865.800 |
| C7 | 279 | \$ 725.400 |
| C3 | 330 | \$ 858.000 |
| CA | 242 | \$ 629.200 |
| C9 | 333 | \$ 865.800 |
| C8 | 356 | \$ 925.600 |

Resultados Central 12

| | |
|------------------------|---------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 4121 |
| Total costos | \$ 10.714.600 |

Central Actual

| De CA a... | Distancia | Costo trayecto |
|------------|-----------|----------------|
| C1 | 441 | \$ 1.146.600 |
| C12 | 243 | \$ 631.800 |
| C2 | 228 | \$ 592.800 |
| C8 | 277 | \$ 720.200 |
| C11 | 190 | \$ 494.000 |
| C6 | 223 | \$ 579.800 |
| C4 | 220 | \$ 572.000 |
| C5 | 142 | \$ 369.200 |
| C9 | 111 | \$ 288.600 |
| C10 | 107 | \$ 278.200 |
| C7 | 48,9 | \$ 127.140 |
| C3 | 44,7 | \$ 116.220 |

Resultados Central Actual

| | |
|------------------------|--------------|
| Costo por km | \$ 2.600 |
| Total distancia | 2276 |
| Total costos | \$ 5.916.560 |

Anexo 2. Indicadores de gestión para el sector de generación de energía eléctrica

A continuación, se presenta una lista de indicadores de gestión que puede utilizarse para la toma de decisiones, grupos primarios, informes de gestión, así como el control, mitigación y administración de diferentes riesgos en el sector de generación de energía eléctrica de Colombia. La lista define el tipo de indicador, responsable, periodicidad, medida y herramienta y/o instrumento de medición:

| Indicador | Equipo Responsable | Periodicidad | Medida | Herramienta y/o instrumento de medición |
|---|---------------------------------|--|--|--|
| Costos de generación | Operación | Diaria, semanal, mensual, trimestral, semestral o anual | Pesos colombianos y/o dólares | Reporte financiero del periodo |
| Disponibilidad generadores | | Hora, día, semanal, mensual, trimestral, semestral o anual | Porcentaje de disponibilidad | Reportes al Centro Nacional de Despacho (CND) |
| Indisponibilidad generadores | | Hora, día, semanal, mensual, trimestral, semestral o anual | Número de desvíos | Número de desvíos frente al Centro Nacional de Despacho (CND) |
| Generación | | Hora por día | Gigavatios hora día (GWh/día) | Despachos al Centro Nacional de Despacho (CND) |
| Capacitaciones | Talento humano | Mensual, trimestral, semestral o anual | - Número de cursos realizados - Horas de capacitación | Trazabilidad proceso de capacitación |
| Eventos Seguridad y Salud en el Trabajo | Seguridad y Salud en el Trabajo | Mensual, trimestral, semestral o anual | Número de incidentes o accidentes SST | Evaluación interna del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo |
| Eventos ambientales | Ambiental | Mensual, trimestral, semestral o anual | Número de incidentes o accidentes ambientales | Evaluación interna del Sistema de Gestión Ambiental |
| Nivel agregado del embalse | Hidrometría | Diaria, mensual, trimestral, semestral o anual | Porcentaje de volumen útil | Reportes hidrología |
| Cota del embalse | Hidrometría | Hora | Metros | Reportes hidrología |
| Fallas componentes del generador | Mantenimiento | Mensual, trimestral, semestral o anual | Número de reportes de fallas | Reportes de confiabilidad y mantenimiento de las máquinas |
| Componentes reparados | Mantenimiento | Mensual, trimestral, semestral o anual | Número de componentes reparados | Informes de reparación |

Este esquema puede ser utilizado para el montaje de un tablero de control en el software Power BI.