



Vigilada Mineducación

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA DETERMINAR LA CREACIÓN DE  
UNA FÁBRICA DE PRODUCCIÓN DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS EN  
COLOMBIA**

PRE-FEASIBILITY STUDY TO DETERMINE THE CREATION OF AN  
ELECTRICAL TRANSFORMER PRODUCTION FACTORY IN COLOMBIA

ANDRÉS MAURICIO ALVAREZ RAMÍREZ  
JOHN FREDY GALLEGO HENAO

Trabajo de grado

Asesor, docente  
JORGE HARLEY GUERRERO LATORRE

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS  
MEDELLÍN

2025

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
3. JUSTIFICACIÓN .....	17
4. OBJETIVOS .....	18
4.1. GENERAL .....	18
4.2. ESPECÍFICOS .....	18
5. MARCO TEÓRICO .....	19
5.1. FUNDAMENTOS DE LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS.....	19
5.1.1. DEFINICIÓN DE PROYECTO .....	19
5.1.2. NATURALEZA DE LOS PROYECTOS.....	20
5.1.3. CICLO DE VIDA DEL PROYECTO.....	20
5.1.3.1. Fase de Preinversión .....	21
5.1.3.1.1. Idea .....	22
5.1.3.1.2. Perfil .....	22
5.1.3.1.3. Prefactibilidad.....	23
5.1.3.1.4. Factibilidad .....	24
5.1.3.2. Fase de Inversión .....	25
5.1.3.3. Fase de Operación .....	26
5.1.4. ENFOQUES METODOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS.....	27
5.1.4.1. Marco Lógico (MML).....	27
5.1.4.2. Metodología General Ajustada (MGA).....	28

5.1.4.3.	Organización de las Naciones Unidas (ONU)	29
5.1.4.4.	Otras Metodologías Internacionales	29
5.1.5.	ESTUDIOS FUNDAMENTALES metodología – ONU	31
6.	FUNDAMENTOS TÉCNICOS: TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS	34
6.1.	MARCO CONCEPTUAL	34
6.2.	Historia y Evolución de los Transformadores	34
6.3.	Principios Básicos de Funcionamiento	35
6.4.	Componentes Principales	36
6.5.	Tipos de Transformadores	37
6.5.1.	Transformadores de Distribución	37
6.5.2.	Transformadores de Potencia	38
6.5.3.	Transformadores Secos	38
6.5.4.	Transformadores en Aceite	38
6.5.5.	Otros Tipos Especiales	38
6.6.	Aplicaciones y Usos Según el Sector	39
6.7.	Importancia en el Sistema Eléctrico Colombiano	39
6.8.	Avances Tecnológicos y Eficiencia Energética	40
6.9.	Estado del Arte	41
6.10.	Problemáticas Actuales	42
6.11.	Impacto Económico	42
6.12.	Perspectiva Ambiental	43
6.13.	Tendencias Futuras	44
7.	DISEÑO METODOLÓGICO	46
7.1.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	46

7.1.1.	FASES DEL ENFOQUE CUANTITATIVO .....	47
7.1.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	47
7.1.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	48
7.1.4.	FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ....	49
7.1.4.1.	Fuentes Primarias.....	49
7.1.4.2.	Fuentes Secundarias .....	49
7.1.5.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	50
7.1.5.1.	Análisis Estratégico del Entorno .....	50
7.1.5.2.	Análisis de Mercado.....	50
7.1.5.3.	Análisis Técnico y Comparativo .....	50
7.1.5.4.	Análisis Financiero.....	50
7.1.5.5.	Evaluación Legal y Ambiental .....	50
7.1.6.	DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.....	51
7.1.7.	TIPO DE MUESTRAS.....	51
7.1.8.	TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	52
8.	DESARROLLO DEL TRABAJO .....	54
8.1.	ESTUDIO SECTORIAL Y DEL ENTORNO .....	54
8.1.1.	ANÁLISIS PESTEL .....	54
8.1.2.	MODELO DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER .....	58
8.1.3.	MATRIZ DOFA.....	61
9.	ESTUDIO DE MERCADO .....	63
9.1.	INVESTIGACIÓN DE MERCADO .....	64
9.2.	PRODUCTO .....	69
9.3.	MERCADO DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	71

9.4.	DEMANDA.....	73
9.5.	OFERTA.....	76
9.6.	PRECIO.....	78
9.7.	COMERCIALIZACIÓN.....	80
10.	ESTUDIO TÉCNICO.....	81
10.1.	ANÁLISIS DEL TAMAÑO O CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	82
10.2.	ANÁLISIS DE LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA.....	83
10.3.	PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	89
10.4.	MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	94
10.5.	EDIFICIOS E INSTALACIONES.....	97
11.	ESTUDIO ECONÓMICO – FINANCIERO.....	102
11.1.	PRESUPUESTO DE INVERSIONES.....	104
11.1.1.	Inversiones Fijas.....	104
11.1.2.	Inversiones Diferidas.....	105
11.1.3.	Capital de Trabajo.....	106
11.2.1.	Costos de Producción o Fabricación.....	106
11.2.2.	Gastos de Administración.....	107
11.2.3.	Gastos de Ventas y Comercialización.....	108
11.2.4.	Resumen del Presupuesto Anual de Costos de Operación.....	108
11.3.1.	Depreciación.....	108
11.3.2.	Amortización.....	109
11.4.1.	Intereses del capital prestado.....	109
11.4.2.	Amortización del crédito.....	110
11.5.1.	Ingresos operativos.....	112

11.5.2.	Otros ingresos.....	112
11.6.1.	Flujo de caja del inversionista.....	113
11.6.2.	Flujo de caja del proyecto.....	115
12.	MARCO LEGAL, REGULATORIO Y AMBIENTAL.....	117
12.1.	NORMATIVA INTERNACIONAL.....	117
12.2.	NORMATIVA NACIONAL.....	118
12.3.	GESTIÓN AMBIENTAL.....	118
12.4.	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL.....	123
12.5.	CERTIFICACIONES TÉCNICAS Y DE CALIDAD.....	123
12.6.	RESUMEN DEL ESTATUTO TRIBUTARIO DE COLOMBIA.....	124
13.	ESTRUCTURA ORGANIZATIVA Y ADMINISTRATIVA.....	125
13.1.	MODELO ORGANIZACIONAL.....	125
13.2.	ROLES Y FUNCIONES CLAVES.....	126
13.3.	PERFILES REQUERIDOS.....	128
13.4.	MAPA ESTRATÉGICO.....	128
13.4.1.	Misión.....	128
13.4.2.	Visión.....	128
13.4.3.	Políticas Corporativas.....	129
13.5.	CONSTITUCIÓN LEGAL.....	129
13.6.	ADMINISTRACIÓN DE LA FÁBRICA.....	129
14.	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	130
14.1.	ESCALA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	130
14.2.	MAPA DE CALOR DE RIESGOS.....	131
14.3.	EVALUACIÓN DETALLADA DE LOS RIESGOS.....	131

15.	CONCLUSIONES.....	134
16.	REFERENCIAS .....	136
17.	ANEXO A.....	140
18.	ANEXO B.....	144
19.	ANEXO C .....	146

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transformador Eléctrico.....	37
Figura 2. Fases del Enfoque Cuantitativo .....	47
Figura 3. Análisis PESTEL.....	57
Figura 4. Modelo de las 5 Fuerzas de Porter .....	60
Figura 5. Matriz DOFA.....	63
Figura 6. Exportaciones de Transformadores .....	74
Figura 7. Tamaño del Mercado de Transformadores en América Latina .....	75
Figura 8. Flujograma Proceso Productivo de la Fábrica .....	93
Figura 9. Planta de Distribución de la Fábrica .....	94
Figura 10. Comportamiento Intereses vs Amortización .....	111
Figura 11. Organigrama Propuesto.....	126

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores para el Análisis PESTEL .....	55
Tabla 2. Factores para el Análisis de las 5 Fuerzas de Porter .....	59
Tabla 3. Matriz para el Análisis DOFA .....	61
Tabla 4. Estimación de Crecimiento Anual de Ventas .....	76
Tabla 5. Empresas Competidoras.....	77
Tabla 6. Rango de Precios Estimados.....	78
Tabla 7. Distancia a Puertos desde Medellín.....	84
Tabla 8. Distancias a Centros de Consumos .....	84
Tabla 9. Estímulos Fiscales .....	88
Tabla 10. Tecnología a Utilizar .....	91
Tabla 11. Descripción de la Maquinaria y Equipo Requerido .....	94
Tabla 12. Precios y Condiciones de Pago (Estimación) .....	96
Tabla 13. Herramientas, Vehículos y Mobiliario Necesario.....	97
Tabla 14. Exigencias Técnicas .....	100
Tabla 15. Materiales, Mano de Obra y Equipamiento .....	101
Tabla 16. Indicadores Financieros .....	103
Tabla 17. Inversiones Fijas .....	104
Tabla 18. Inversiones Diferidas.....	105
Tabla 19. Capital de Trabajo.....	106
Tabla 20. Costos Variables.....	106
Tabla 21. Costos Fijos .....	107
Tabla 22. Gastos de Administración .....	107
Tabla 23. Gastos de Ventas y Comercialización.....	108
Tabla 24. Resumen de Presupuesto Anual .....	108
Tabla 25. Depreciaciones .....	108
Tabla 26. Amortizaciones .....	109
Tabla 27. Condiciones del Préstamo .....	110
Tabla 28. Amortización del Crédito .....	110

Tabla 29. Ingresos Operativos Anuales .....	112
Tabla 30. Flujo de Caja del Inversionista .....	114
Tabla 31. Indicadores Financieros del Inversionista .....	114
Tabla 32. Flujo de Caja del Proyecto .....	116
Tabla 33. Indicadores Financieros del Proyecto .....	116
Tabla 34. Matriz de Impacto Ambiental.....	119
Tabla 35. Requisitos de SST .....	123
Tabla 36. Roles y Funciones.....	126
Tabla 37. Perfiles Laborales .....	128
Tabla 38. Matriz de Impacto .....	130
Tabla 39. Matriz de Probabilidad .....	131
Tabla 40. Mapa de Calor de Riesgos.....	131
Tabla 41. Evaluación de Riesgos del Entorno .....	131
Tabla 42. Evaluación de Riesgos Operacionales.....	132
Tabla 43. Riesgo del Mercado .....	133

## GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

- Corriente alterna (CA): Tipo de corriente eléctrica cuya dirección de flujo cambia periódicamente en función del tiempo, a diferencia de la corriente continua (CC). Es la forma de energía eléctrica más comúnmente utilizada en la transmisión y distribución de energía.
- Devanado: Conjunto de espiras o bobinas de conductor enrolladas alrededor de un núcleo magnético. El devanado primario recibe la energía eléctrica de entrada, mientras que el devanado secundario entrega la energía transformada.
- Eficiencia energética: Relación entre la energía útil entregada por un dispositivo y la energía consumida. Un transformador eficiente entrega más energía útil con menores pérdidas internas.
- Flujo magnético: Cantidad total de magnetismo que atraviesa un área específica. Este flujo es crucial para el funcionamiento de transformadores, ya que está relacionado con la cantidad de energía que se transfiere entre los devanados.
- GOES (Grain Oriented Electrical Steel), o Acero Eléctrico de Grano Orientado, es una aleación de hierro y silicio que ha sido procesada para que sus cristales se alineen en la dirección del flujo magnético.
- IoT (Internet of Things): Conexión de dispositivos físicos a Internet para permitir el intercambio de datos. En transformadores, el IoT permite la monitorización remota, la recolección de datos operativos y la integración con sistemas de control inteligentes.
- Núcleo magnético: Parte central del transformador que guía el flujo magnético entre los devanados. Generalmente fabricado de material ferromagnético, el núcleo permite una transmisión eficiente de la energía.
- Pérdidas por histéresis: pérdidas de energía que ocurren en el núcleo magnético de un transformador debido a la inversión repetida de polaridad del campo magnético, lo que genera calor.
- Pérdidas por corrientes parásitas: Corrientes no deseadas que se inducen en el núcleo debido al campo magnético alternante. Estas corrientes generan calor adicional, lo que reduce la eficiencia del transformador.
- Relé Buchholz: Dispositivo de protección instalado en transformadores de aceite, diseñado para detectar fallos internos, como la acumulación de gases o el sobrecalentamiento, activando una alarma o desconexión.
- RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas en Colombia, establecido por el Ministerio de Minas y Energía, que regula la seguridad y la calidad de las instalaciones eléctricas en el país.
- Transformador de distribución: Tipo de transformador utilizado en redes de baja y media tensión, cuyo objetivo es reducir la tensión de la red para su consumo en residencias, comercios e industrias.

- Transformador de potencia: Transformador utilizado en redes de transmisión de alta tensión, con el propósito de elevar o reducir grandes cantidades de energía para su transporte a largas distancias.
- Transformadores secos: Transformadores que no utilizan líquidos refrigerantes, sino aire o resinas epóxicas como medios de enfriamiento y aislamiento, lo que los hace adecuados para su uso en espacios interiores.
- Transformadores en aceite: Transformadores que utilizan aceite mineral o vegetal como medio de refrigeración y aislamiento. Este aceite permite manejar transformadores de mayor potencia y mejorar la disipación térmica.
- Voltaje: Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito, responsable de generar el flujo de corriente eléctrica. El voltaje se mide en voltios (V).

## RESUMEN

Este estudio de prefactibilidad tiene como objetivo analizar la viabilidad de crear una fábrica de transformadores eléctricos de distribución en Colombia. La infraestructura eléctrica constituye un pilar fundamental para el desarrollo económico y social de cualquier país. En el contexto colombiano, el mercado de transformadores ha mostrado una evolución significativa en los últimos años, impulsada por el aumento de la demanda energética, el crecimiento de las exportaciones y la incorporación de innovaciones tecnológicas.

En este escenario, los transformadores eléctricos desempeñan un papel esencial en el suministro eficiente y confiable de energía. Sin embargo, la oferta nacional de estos equipos presenta limitaciones en capacidad de producción, competitividad en costos y cumplimiento de estándares internacionales. Por ello, se plantea la posibilidad de establecer una planta de producción nacional que responda a estas necesidades mediante la fabricación de productos de alta calidad, eficiencia energética y competitividad en el mercado.

El análisis de prefactibilidad se realizará con base en la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI), reconocida por su enfoque integral, y para evaluar si existen condiciones justificables para avanzar hacia la creación de la fábrica. La investigación contempla estudios de entorno y del sector, análisis de mercado, estudios técnicos, organizacionales, legales, ambientales y financieros; así como un análisis de riesgos, con el fin de ofrecer una visión completa sobre la factibilidad de realizar estos estudios.

Palabras clave: Prefactibilidad, transformadores eléctricos, infraestructura eléctrica, metodología ONUUDI, creación, fábrica, industria eléctrica, Colombia.

## **ABSTRACT**

This pre-feasibility study aims to assess the viability of establishing a distribution transformer manufacturing plant in Colombia. Electrical infrastructure is a fundamental pillar for the economic and social development of any country. In Colombia, the transformer market has evolved significantly in recent years, driven by growing energy demand, the expansion of exports, and technological advancements.

In this context, electrical transformers play a crucial role in ensuring an efficient and stable power supply. However, the domestic supply of these devices still faces challenges related to production capacity, cost competitiveness, and compliance with international standards. To address these limitations, the potential establishment of a national factory is proposed, capable of producing high-quality, efficient, and competitive equipment.

The pre-feasibility analysis will follow the methodology developed by the United Nations Industrial Development Organization (ONUDI), recognized for its comprehensive approach to evaluating whether the necessary conditions are met to justify further development. The study includes analyses of the external environment and sector, market research, and technical, organizational, legal, environmental, financial, and risk evaluations, aiming to provide a comprehensive understanding of the feasibility of conducting these studies.

**Keywords:** Pre-feasibility, electrical transformers, electrical infrastructure, ONUDI methodology, creation, factory, Colombian energy industry.

## 1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura eléctrica representa un componente estratégico para el desarrollo económico y social de cualquier país. En Colombia, la creciente demanda de energía, impulsada por el crecimiento industrial, la expansión urbana y las metas de transición energética, ha puesto de relieve la necesidad de contar con una cadena de suministro robusta y eficiente en componentes críticos del sistema eléctrico, como los transformadores de distribución.

A pesar del avance en la cobertura eléctrica nacional, la industria local enfrenta limitaciones estructurales en la producción de transformadores eléctricos, lo cual genera dependencia de importaciones, encarece los costos logísticos y puede afectar la calidad del servicio energético. Este contexto revela una oportunidad estratégica para explorar la creación de una fábrica nacional orientada a la producción de transformadores de distribución, con estándares técnicos competitivos, sostenibilidad ambiental y capacidad de adaptación tecnológica.

El presente estudio se enmarca en este desafío. Analizar la viabilidad de desarrollar una iniciativa industrial de esta naturaleza requiere comprender múltiples dimensiones del entorno: desde las dinámicas del mercado y las capacidades tecnológicas existentes, hasta las exigencias regulatorias y los riesgos asociados al sector eléctrico colombiano. Además, la posibilidad de fomentar encadenamientos productivos, generar empleo calificado y fortalecer la autonomía tecnológica del país hace aún más relevante examinar esta iniciativa desde una perspectiva estructural.

Así, esta investigación se propone aportar un análisis integral que permita comprender si existen las condiciones necesarias para avanzar hacia la implementación futura de una planta productiva, contribuyendo al desarrollo industrial del país y a la modernización de su sistema eléctrico.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la industria colombiana enfrenta desafíos significativos en la oferta de transformadores eléctricos de distribución, especialmente aquellos destinados a instalaciones de uso interior, como hospitales, oficinas, centros comerciales y edificios residenciales. Las empresas proveedoras muestran limitaciones tanto en capacidad de producción, como en variedad tecnológica, lo que impide atender integralmente las necesidades del mercado y obliga a los clientes a buscar múltiples proveedores para satisfacer una única demanda.

Este panorama se complejiza ante el crecimiento sostenido de la demanda energética, que según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), ha aumentado en promedio un 3,5 % anual durante la última década (UPME, 2024). La expansión urbana y el desarrollo industrial intensifican la necesidad de contar con equipos de transformación confiables, disponibles y técnicamente adaptados a las condiciones del país.

Adicionalmente, el transformador es un componente esencial en las instalaciones eléctricas, y su posicionamiento en el mercado se ve influenciado por los riesgos asociados a posibles fallas. Los clientes priorizan la calidad y los tiempos de entrega por encima del precio, prefiriendo marcas reconocidas que, en ocasiones, no logran satisfacer la demanda del mercado debido a limitaciones en su capacidad de producción. Esto les permite seleccionar únicamente los productos más rentables, dejando desatendidas otras necesidades del mercado.

Asimismo, factores como la alta dependencia de materias primas importadas, el alza en los costos logísticos y los extensos tiempos de entrega para transformadores no estándar, revelan cuellos de botella estructurales que afectan la competitividad del sector eléctrico. En la actualidad, mientras que algunos transformadores de montaje en poste están disponibles para entrega inmediata, otros requieren entre 60 y 120 días de fabricación, situación que dificulta la planificación y ejecución de proyectos eléctricos.

Frente a estas limitaciones, surge la necesidad de analizar en profundidad si existen las condiciones económicas, técnicas, legales y organizacionales que permitan sustentar la creación futura de una planta nacional de producción de transformadores eléctricos. Esta reflexión no pretende confirmar la ejecución del proyecto, sino evaluar, desde un enfoque de prefactibilidad, si los estudios justifican su desarrollo y si hay fundamentos sólidos para considerarlo viable en etapas posteriores.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La creciente demanda de infraestructura energética en Colombia, junto con las limitaciones de la capacidad instalada para la fabricación nacional de transformadores eléctricos, plantea desafíos significativos en la disponibilidad oportuna y competitiva de estos equipos esenciales para el sistema eléctrico. Según el Plan Energético Nacional 2020-2050 (UPME, 2019). La eficiencia energética promedio del país se sitúa en torno al 31 %, lo que evidencia un amplio margen de mejora en términos de infraestructura, confiabilidad y sostenibilidad.

En este contexto, se justifica la necesidad de llevar a cabo un estudio de prefactibilidad que permita analizar, desde una perspectiva técnico-científica, la posibilidad de crear una fábrica de transformadores eléctricos de distribución en el país. Esta investigación pretende aportar conocimiento riguroso sobre las condiciones actuales del mercado, la disponibilidad de tecnologías, los marcos regulatorios, las barreras de entrada y los principales factores de riesgo que afectarían una eventual inversión industrial.

Desde un enfoque académico y metodológico, el estudio ofrece una aplicación estructurada de la metodología de prefactibilidad recomendada por la ONUDI, que permite evaluar proyectos industriales en contextos emergentes. Este marco aporta herramientas validadas para estimar la factibilidad técnica, organizacional, ambiental, legal y financiera de una iniciativa industrial, sin incurrir en promesas de implementación, sino más bien en el análisis de las condiciones necesarias para su estudio.

En términos económicos y sociales, aunque no es objetivo de este trabajo implementar un proyecto, el análisis de los datos permite proyectar beneficios potenciales asociados al fortalecimiento del tejido industrial nacional, la reducción de la dependencia de equipos importados y la posible mejora en tiempos de entrega. Casos como el de Magnetron en Pereira muestran que existen capacidades instaladas, pero aún insuficientes para cubrir toda la demanda nacional. Asimismo, se identifica un interés creciente por parte de instituciones como (PROCOLOMBIA, 2023) para promover sectores industriales alineados con la transición energética.

Este trabajo, por tanto, busca sustentar —mediante un estudio de prefactibilidad riguroso— la pertinencia de analizar la creación de una fábrica de transformadores, aportando evidencia útil para investigadores, entidades públicas o privadas interesadas en la modernización y autosuficiencia del sistema eléctrico colombiano.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. GENERAL**

Realizar un análisis de prefactibilidad para la creación de una fábrica de transformadores eléctricos en Colombia, aplicando la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

### **4.2. ESPECÍFICOS**

1. Analizar el entorno y el sector eléctrico para comprender el rol estratégico de los transformadores eléctricos en Colombia.
2. Estudiar el mercado nacional de transformadores eléctricos, caracterizando la oferta, la demanda, los segmentos de clientes y los niveles de precios.
3. Evaluar los aspectos técnicos clave relacionados con la implementación de una fábrica de transformadores eléctricos.
4. Ejecutar un estudio financiero y económico de la creación de la fábrica de transformadores eléctricos.
5. Examinar el marco legal, regulatorio y ambiental aplicable al establecimiento y operación de la fábrica de transformadores eléctricos.
6. Identificar y analizar los principales riesgos asociados al entorno, la operación y el mercado objetivo del proyecto.
7. Proponer una estructura organizativa y administrativa adecuada para el funcionamiento eficiente de la fábrica de transformadores eléctricos.

## **5. MARCO TEÓRICO**

En este punto vamos entonces a explicar los elementos fundamentales para el desarrollo del trabajo. Se abordarán elementos fundamentales como los conceptos de proyectos, las metodologías de evaluación, los estudios de prefactibilidad y aspectos técnicos de los transformadores eléctricos.

### **5.1.FUNDAMENTOS DE LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

#### **5.1.1. DEFINICIÓN DE PROYECTO**

La formulación y evaluación de proyectos son reconocidos como una disciplina fundamental dentro de la administración moderna, especialmente en contextos industriales, sociales y de infraestructura. Su propósito central es estructurar, analizar y determinar la viabilidad de una iniciativa antes de comprometer recursos significativos. Esta práctica se apoya en marcos teóricos, técnicos y metodológicos que permiten tener una visión integral del proyecto, considerando aspectos técnicos, económicos, financieros, sociales y ambientales (Sapag Chain et al., 2014).

Un proyecto puede definirse como un conjunto de actividades interrelacionadas y planificadas que se desarrollan durante un periodo determinado con el propósito de resolver un problema, aprovechar una oportunidad o satisfacer una necesidad específica. En otras palabras, “Un proyecto es, ni más ni menos, la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema que tiende a resolver, entre tantos, una necesidad humana”.(Sapag Chain et al., 2014, p. 1).

Desde la perspectiva de la gestión de proyectos, el Project Management Institute (PMI) define un proyecto como “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (PMI, 2021). Este carácter temporal implica que el proyecto tiene un inicio y un final definidos, y su unicidad significa que los resultados obtenidos difieren en algún aspecto de productos o servicios existentes.

Los proyectos, en su gestión moderna, se ven condicionados por tres restricciones fundamentales:

- Tiempo: Periodo necesario para completar el proyecto.
- Costo: Cantidad de recursos financieros necesarios para su ejecución.
- Alcance: Conjunto de actividades y entregables requeridos para lograr los objetivos del proyecto, con el nivel de calidad acordado.

Estas restricciones están interrelacionadas: un cambio en una de ellas repercute directamente en las otras. Por ejemplo, ampliar el alcance sin modificar el tiempo o el presupuesto podría comprometer la calidad o la entrega del proyecto. La gestión

de proyectos busca precisamente optimizar esta interacción, garantizando un equilibrio sostenible entre tiempo, costo y alcance (Kerzner, 2017).

### **5.1.2. NATURALEZA DE LOS PROYECTOS**

Los proyectos, en el contexto de la gestión organizacional y del desarrollo industrial, se caracterizan por ser iniciativas temporales, orientadas a alcanzar objetivos específicos mediante la creación de un producto, servicio o resultado único. Según el Project Management Institute (PMI), un proyecto es “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (PMI, 2021, p. 4). Esta definición destaca dos aspectos clave: su duración limitada y su resultado no repetitivo.

El carácter temporal de los proyectos implica que cada uno tiene un inicio y un final claramente definidos, lo que los distingue de las operaciones permanentes de una organización. A su vez, la unicidad del resultado se refiere a que cada proyecto produce entregables distintos, incluso si se repite el tipo de actividad. Por ejemplo, la construcción de dos edificios similares en diferentes ubicaciones representa dos proyectos distintos, debido a las condiciones particulares de cada uno.

Esta naturaleza temporal y única conlleva que los proyectos estén sujetos a restricciones múltiples, principalmente en términos de tiempo, costo y alcance, las cuales deben gestionarse de forma equilibrada para asegurar el éxito del mismo. En este sentido, la formulación y evaluación de proyectos cumple un rol fundamental, ya que permite verificar anticipadamente la viabilidad técnica, económica, ambiental y operativa de la iniciativa, considerando tanto los recursos disponibles como el entorno específico en el que se desarrollará (Kerzner, 2017).

Asimismo, los proyectos están influenciados por factores contextuales, tales como las condiciones del entorno político, legal, económico y tecnológico, lo cual exige una visión estratégica en su diseño y planificación. La adecuada formulación del proyecto debe contemplar estas variables para reducir los niveles de incertidumbre y mejorar la toma de decisiones en etapas posteriores.

Por tanto, entender la naturaleza de los proyectos no solo implica conocer su estructura básica, sino también reconocer que se trata de procesos dinámicos, complejos y sistémicos, que requieren enfoques metodológicos rigurosos para asegurar su efectividad y sostenibilidad.

### **5.1.3. CICLO DE VIDA DEL PROYECTO**

El ciclo de vida de un proyecto se refiere al conjunto de fases secuenciales por las que transcurre una iniciativa desde su formulación hasta su cierre definitivo. Cada una de estas fases tiene propósitos, productos y actividades específicas, y su adecuada definición permite una gestión ordenada y eficiente del proyecto en el tiempo.

Según la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), para planificar un proyecto correctamente es necesario establecer su horizonte temporal, descomponiéndolo en fases claramente delimitadas. Estas fases deben ser analizadas de forma independiente, determinando su duración específica y, posteriormente, integrándolas para estimar la duración total del proyecto (ONUDI, 2004).

La metodología ONUDI reconoce que cada proyecto es único y que su análisis debe adaptarse al contexto específico. Aunque cada metodología puede presentar variaciones en los nombres o subdivisiones, existe un consenso general en torno a las etapas fundamentales del ciclo de vida de un proyecto, por esta razón, propone un ciclo de vida del proyecto dividido en tres etapas principales (Franco & Montoya, 2012):

- Fase de preinversión: En esta etapa se desarrollan los estudios que permiten evaluar la viabilidad técnica, económica y financiera del proyecto. Se elabora un documento base con toda la información relevante para la toma de decisiones.
- Fase de inversión o ejecución: Comprende el montaje físico del proyecto, la adquisición de tecnología, el desarrollo de infraestructura y la preparación para la operación.
- Fase operativa: Inicia una vez el proyecto entra en funcionamiento. En esta fase se ejecutan las actividades productivas y se generan los beneficios proyectados.

#### **5.1.3.1. Fase de Preinversión**

La fase de preinversión es una etapa clave dentro del ciclo de vida de los proyectos, ya que en ella se determinan la viabilidad y conveniencia de la iniciativa. Esta fase comprende el desarrollo de estudios que permiten evaluar técnica, económica, financiera, ambiental y organizacionalmente un proyecto, con el objetivo de tomar decisiones informadas sobre su ejecución (Franco & Montoya, 2012; ONUDI, 2004).

Según la metodología ONUDI, la preinversión puede dividirse en tres niveles de profundidad, dependiendo de la precisión de la información y el costo del análisis:

1. Estudio de oportunidades: Explora alternativas preliminares con información general, orientado a detectar proyectos potenciales.
2. Estudio de prefactibilidad: Evalúa aspectos clave del proyecto con información de fuentes externas o secundarias.
3. Estudio de factibilidad: Realiza una evaluación integral basada en datos primarios, simulaciones, presupuestos detallados y cronogramas de ejecución.

Cada uno de estos estudios aborda los mismos aspectos del proyecto, pero con un grado de profundidad y certeza progresivamente mayor.

#### **5.1.3.1.1. Idea**

La idea de proyecto representa el punto de partida del ciclo de vida de toda iniciativa. Es en este momento donde surge la propuesta inicial, a menudo como respuesta a una necesidad, problema, oportunidad o desafío detectado en un contexto específico. Esta fase, aunque preliminar, es crítica, ya que establece la base para toda la planificación posterior.

El surgimiento de la idea puede derivarse de diversas fuentes: observaciones de mercado, estudios técnicos, lineamientos estratégicos de política pública, experiencias previas, requerimientos tecnológicos o demandas sociales. En este sentido, se convierte en una hipótesis de solución que debe ser explorada, validada y, eventualmente, desarrollada como proyecto estructurado (Sapag Chain et al., 2014).

En esta etapa, la formulación aún es conceptual. No se cuenta con todos los datos ni se han desarrollado análisis profundos, pero sí se busca definir con claridad:

- El problema o necesidad que se desea abordar.
- Los objetivos preliminares del proyecto.
- La población beneficiaria o mercado objetivo.
- Una posible alternativa de solución.

Durante la fase de idea, los promotores del proyecto deben comenzar a recolectar antecedentes, revisar experiencias similares y analizar brevemente el entorno para justificar la pertinencia de seguir con un estudio más detallado (Franco & Montoya, 2012).

En términos metodológicos, esta fase corresponde a la etapa de identificación del proyecto en la metodología del Banco Mundial y a la etapa de oportunidades en la metodología de la ONUDI.

#### **5.1.3.1.2. Perfil**

La etapa del perfil del proyecto corresponde a un análisis preliminar cuyo objetivo principal es determinar si la idea inicial justifica avanzar hacia una fase de estudio más profunda. Esta fase permite identificar la viabilidad técnica, económica, ambiental y social del proyecto con un nivel básico de detalle, empleando información secundaria y supuestos fundamentados (Sapag Chain et al., 2014).

El perfil de proyecto representa el primer esfuerzo estructurado para transformar una idea en una propuesta concreta. Su elaboración responde a preguntas clave como:

- ¿Existe un problema real que justifique el proyecto?
- ¿Qué alternativas de solución podrían implementarse?
- ¿Cuál es la demanda potencial del producto o servicio?
- ¿Cuáles serían los costos estimados?

- ¿Quién sería la población beneficiaria?
- ¿El entorno legal y ambiental permite su ejecución?

Desde la metodología ONUDI, esta etapa se identifica como parte del estudio de prefactibilidad inicial, donde se busca establecer si existen suficientes condiciones para justificar el desarrollo de estudios más detallados. En otras metodologías como la MGA, esta fase corresponde a la identificación del proyecto, en la que se perfila la alternativa más prometedora para la solución del problema (DNP, 2023; ONUDI, 2004).

Un perfil bien elaborado debe incluir:

- Diagnóstico del problema o necesidad.
- Definición de objetivos preliminares.
- Identificación de la población objetivo.
- Alternativas de solución.
- Análisis simplificado de mercado.
- Estimación de costos de inversión y operación.
- Posibles fuentes de financiamiento.
- Consideraciones legales y ambientales generales.

La calidad de esta etapa es determinante, ya que permite filtrar ideas inviables, optimizar recursos y enfocar los esfuerzos hacia proyectos con mayor potencial de éxito. Si el perfil resulta favorable, el proyecto puede pasar a una etapa de prefactibilidad con mayor rigor técnico.

#### **5.1.3.1.3. Prefactibilidad**

La etapa de prefactibilidad constituye un nivel intermedio dentro del proceso de análisis de proyectos y se desarrolla una vez que se ha identificado una idea viable en términos generales. Esta fase busca confirmar, mediante estudios más detallados, si el proyecto es factible técnica, económica, legal y ambientalmente; reduciendo así la incertidumbre antes de realizar inversiones mayores (Sapag Chain et al., 2014).

Según estos autores, el ciclo general de un proyecto consta de cuatro fases secuenciales: idea, preinversión, inversión y operación. Dentro de la etapa de preinversión, el estudio de prefactibilidad permite definir con mayor precisión los elementos clave del proyecto, utilizando información secundaria validada, datos estadísticos, criterios técnicos y simulaciones financieras preliminares.

En esta fase se abordan variables críticas como:

- La demanda del mercado y su evolución.
- Las opciones técnicas disponibles para la producción.
- Las alternativas de localización y procesos industriales.
- La estimación de ingresos, inversiones y costos operativos.

- La evaluación financiera mediante indicadores clave como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Los resultados obtenidos en esta fase permiten a los promotores del proyecto tomar decisiones estratégicas sobre la conveniencia de avanzar hacia la fase de factibilidad o replantear el diseño inicial.

#### **5.1.3.1.4. Factibilidad**

La fase de factibilidad constituye la última etapa dentro del proceso de preinversión y representa un análisis integral y detallado que busca confirmar de manera definitiva la viabilidad del proyecto. En esta etapa se realiza una evaluación profunda basada en datos primarios, estudios técnicos especializados, simulaciones y modelos financieros precisos, con el fin de tomar decisiones informadas sobre la ejecución o rechazo del proyecto (Sapag Chain et al., 2014).

Este análisis considera todos los factores relevantes: técnicos, económicos, financieros, sociales, institucionales, legales y ambientales, permitiendo validar si el proyecto es factible y sostenible bajo las condiciones reales del entorno. A diferencia del estudio de prefactibilidad, que emplea información secundaria y estimaciones, el estudio de factibilidad requiere investigaciones específicas, visitas de campo, presupuestos detallados y cronogramas realistas, lo que lo convierte en una base sólida para la inversión.

Características principales del estudio de factibilidad:

- Se elabora sobre la alternativa seleccionada como más viable durante la fase de prefactibilidad.
- Utiliza datos primarios: encuestas, estudios de suelos, análisis financieros específicos, cotizaciones de proveedores, etc.
- Presenta presupuestos detallados de inversión y operación.
- Incluye un plan de ejecución completo: fases, recursos, responsables, tiempos y entregables.
- Contempla mecanismos de seguimiento, mitigación de riesgos y evaluación de impacto.
- Define con precisión las fuentes de financiamiento y los mecanismos de retorno de inversión.

La factibilidad incluye de forma integral:

- Evaluación técnica definitiva (ingeniería de detalle, especificaciones técnicas, tecnología específica).
- Modelo financiero robusto, con escenarios múltiples y análisis de sensibilidad.
- Estudios ambientales completos, en cumplimiento de la legislación vigente.

- Diagnóstico legal, institucional y de riesgos, incluyendo seguros, licencias, gobernanza y responsabilidades.

En este punto, se considera que el proyecto está listo para pasar a la fase de inversión, ya que cuenta con todos los elementos que sustentan su ejecución, operación y evaluación. Una factibilidad favorable no solo minimiza los riesgos, sino que también permite atraer inversores, gestionar recursos públicos y privados y estructurar el proyecto con visión estratégica de largo plazo.

### **5.1.3.2. Fase de Inversión**

La fase de inversión marca el inicio de la ejecución física del proyecto. En este punto, y luego de haberse confirmado la viabilidad técnica, económica, ambiental y legal mediante los estudios de factibilidad, se procede a realizar todas las actividades necesarias para poner en marcha la operación. Es, por tanto, una etapa clave en el ciclo de vida del proyecto, ya que permite pasar de la planeación a la acción.

Esta fase incluye el montaje físico, la adquisición de recursos y la ejecución operativa inicial, y puede ser financiada con recursos propios, crédito externo, aportes estatales, fondos de inversión o esquemas de asociación público-privada, dependiendo del tipo de proyecto y el modelo financiero estructurado en la fase anterior (Sapag Chain et al., 2014).

Actividades típicas en la fase de inversión:

- Adquisición de terrenos y legalización de predios.
- Construcción de infraestructura física.
- Compra e instalación de maquinaria y equipos.
- Montaje de sistemas tecnológicos y logísticos.
- Contratación, selección y capacitación de personal.
- Obtención de licencias y permisos necesarios.
- Pruebas iniciales de operación (marcha blanca o puesta en marcha).

El éxito de esta etapa depende en gran medida de la planificación operativa previa, por lo que es fundamental contar con un cronograma de actividades detallado y realista, acompañado de herramientas de gestión que permitan monitorear el avance, prever desviaciones y controlar recursos.

### **Herramientas para la programación y control de actividades**

- Diagrama de Gantt: Es una herramienta visual que permite representar las tareas del proyecto a lo largo del tiempo, asignando fechas de inicio y fin a cada actividad. Es útil para visualizar el orden secuencial, aunque no muestra interdependencias entre tareas (Kerzner, 2017).
- CPM – PERT (Critical Path Method – Program Evaluation Review Technique): Son métodos basados en redes de precedencia que permiten

modelar proyectos complejos. Estas técnicas identifican el camino crítico, es decir, la secuencia de tareas que determina la duración mínima del proyecto. También permiten calcular holguras, optimizar recursos y ajustar calendarios en función de restricciones reales (PMI, 2021).

Estas herramientas son indispensables en proyectos industriales como el propuesto en este estudio, donde intervienen múltiples proveedores, actividades técnicas secuenciales y recursos logísticos complejos. Su implementación adecuada asegura el cumplimiento del cronograma y el uso eficiente de los recursos.

### **5.1.3.3. Fase de Operación**

La fase de operación corresponde al momento en el cual el proyecto entra en funcionamiento y comienza a generar los resultados planificados. Esta etapa inicia una vez se ha completado la implementación del proyecto —infraestructura, equipos, personal, licencias— y se activan los procesos productivos, logísticos y comerciales definidos en la planificación (García & Tobar, 2007).

En esta fase, el proyecto deja de ser una estructura en desarrollo para comportarse como una unidad operativa activa, asimilándose al funcionamiento habitual de una empresa. Se pone en marcha la cadena de producción, se ejecutan los planes de venta, distribución y comercialización, y se monitorean los ingresos, egresos, costos y utilidades conforme a los indicadores de desempeño definidos en el estudio de factibilidad.

Etapas dentro de la fase de operación, generalmente, esta fase se divide en dos subetapas fundamentales:

1. Curva de aprendizaje: Es el periodo inicial de adaptación operativa. Durante esta etapa, se perfeccionan los procesos, se ajustan los procedimientos, se capacita al personal, y se corrigen errores de implementación. Además, se busca lograr un posicionamiento gradual en el mercado y ajustar la oferta a la demanda efectiva.
2. Estabilización operativa: Una vez superada la curva de aprendizaje, el proyecto debe alcanzar niveles de estabilidad en términos de productividad, calidad, ventas y rentabilidad. Se espera que los ingresos superen los costos, permitiendo recuperar la inversión inicial y generar utilidades sostenibles en el mediano y largo plazo.

Durante toda la fase operativa es clave mantener un sistema de monitoreo y control que permita evaluar los resultados obtenidos frente a los objetivos previstos. Esta evaluación no solo debe centrarse en aspectos financieros, sino también en la eficiencia técnica, la satisfacción del cliente, el impacto social y ambiental, y el cumplimiento normativo (PMI, 2021).

Cada fase del proyecto concluye con un entregable clave (producto, documento o validación técnica) que habilita la transición hacia la siguiente etapa. En el caso de

la operación, uno de los entregables más relevantes es el inicio formal de las actividades comerciales o productivas, lo cual marca el paso hacia la fase de evaluación final o cierre del proyecto.

Cabe destacar que la duración de esta etapa y el período de evaluación dependerán de la naturaleza del proyecto. Algunos requieren largos horizontes de evaluación (infraestructura, industria, energía); mientras que otros pueden mostrar resultados en plazos más cortos (servicios, tecnología, innovación social).

#### **5.1.4. ENFOQUES METODOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

La formulación y evaluación de proyectos son parte de un proceso estratégico que permite determinar la viabilidad técnica, económica, financiera, social y ambiental de una iniciativa antes de su ejecución. Este análisis es fundamental para minimizar los riesgos, optimizar el uso de los recursos y maximizar los beneficios esperados. A lo largo del tiempo, diversos organismos internacionales, entidades gubernamentales y autores han propuesto metodologías estructuradas para facilitar este proceso.

A continuación, se presentan algunos de los enfoques metodológicos más reconocidos y utilizados:

##### **5.1.4.1. Marco Lógico (MML)**

La Metodología del Marco Lógico (MML) es una herramienta ampliamente utilizada para la formulación, planificación, monitoreo y evaluación de proyectos, particularmente en iniciativas financiadas por agencias de cooperación internacional, instituciones gubernamentales y organizaciones del tercer sector. Su principal fortaleza radica en su enfoque orientado a resultados y en la posibilidad de representar gráficamente, de forma clara y estructurada, la lógica del proyecto en una matriz denominada Matriz de Marco Lógico.

Desde finales de la década del setenta, agencias como la GTZ (hoy GIZ), el Banco Mundial, el BID y la Unión Europea han promovido el uso del Marco Lógico para mejorar la calidad de los proyectos, incorporando la evaluación desde la etapa de diseño. Este enfoque ha permitido vincular el desempeño del proyecto con su planificación, ejecución, monitoreo y evaluación (Ortegón et al., 2005).

La MML promueve la participación activa de los actores clave, la claridad en los objetivos y resultados, y una visión integral que considera factores internos y externos que pueden influir en el éxito del proyecto. De acuerdo con (Ortegón et al., 2005), la metodología se estructura en dos grandes etapas:

- Etapa de diagnóstico y generación de opciones: Se realiza un análisis de la situación actual, identificando problemas, necesidades y oportunidades, lo

que permite construir una visión del estado deseado. En esta fase se determinan las estrategias más adecuadas para alcanzar los objetivos.

- Etapa de planificación: Se transforma la idea del proyecto en un plan operativo concreto, utilizando la matriz de marco lógico como herramienta central para estructurar los objetivos, actividades, indicadores, medios de verificación y supuestos.

Una de las ventajas clave de esta metodología es su aplicabilidad a proyectos con resultados intangibles o de largo plazo, como aquellos enfocados en planeación estratégica, desarrollo institucional, cambios culturales, educación o procesos de fortalecimiento comunitario.

El Marco Lógico puede ser utilizado a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del proyecto, incluyendo la programación, identificación, diseño, implementación, monitoreo y evaluación ex post. Su utilización permite a los equipos de trabajo y a los financiadores entender de forma rápida y clara la lógica del proyecto, facilitando el diálogo, la toma de decisiones y la rendición de cuentas.

#### **5.1.4.2. Metodología General Ajustada (MGA)**

La Metodología General Ajustada (MGA) es la herramienta oficial utilizada en Colombia para la formulación, evaluación y seguimiento de proyectos de inversión pública. Fue desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) con el propósito de estandarizar los procesos de estructuración de proyectos en las entidades del Estado, promoviendo una planeación técnica, participativa y orientada a resultados.

Su fundamento metodológico se basa en el Marco Lógico, derivado a su vez de la Planificación Orientada a Objetivos (Ziel Orientierte Projekt Planung – ZOPP), y en los principios de la evaluación económica y social de proyectos. Este enfoque permite estructurar los problemas, objetivos, alternativas de solución e indicadores, facilitando la selección de la opción más viable desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social (DNP, 2023).

La MGA opera como una herramienta informática, organizada en módulos secuenciales que guían al formulador a través del proceso de diseño del proyecto. Cada módulo se centra en una etapa clave del ciclo de vida del proyecto, a saber:

- Identificación: Reconocimiento del problema, población objetivo y contexto territorial.
- Preparación: Definición de alternativas de solución, análisis técnico y diseño de la intervención.
- Evaluación: Comparación de alternativas en términos de viabilidad y sostenibilidad, mediante análisis financiero, económico, social y ambiental.
- Programación: Definición del cronograma, presupuesto y responsabilidades para la ejecución.

Durante la fase de prefactibilidad, la MGA permite analizar en profundidad los componentes técnicos de cada alternativa, considerando variables como localización, tecnología, impacto ambiental, costos de inversión y operación, y rentabilidad esperada. Esta etapa es crítica para determinar si el proyecto debe continuar hacia una fase de factibilidad o ajustarse antes de avanzar.

La MGA es de carácter obligatorio para entidades públicas nacionales y territoriales que gestionan recursos del Sistema General de Regalías o del Presupuesto General de la Nación. Su implementación ha contribuido a mejorar la eficiencia, transparencia y efectividad en la gestión del ciclo de proyectos públicos en Colombia.

#### **5.1.4.3. Organización de las Naciones Unidas (ONUDI)**

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) es un organismo especializado del sistema de las Naciones Unidas, establecido en 1966 con el objetivo de promover y acelerar el desarrollo industrial sostenible en los países en desarrollo y en economías en transición. Su labor está orientada a reducir la pobreza mediante el fortalecimiento del sector productivo, el desarrollo rural, el impulso a las pequeñas y medianas empresas (PYMES), y el fomento de prácticas industriales sostenibles (ONUDI, 2004).

Uno de sus principales aportes ha sido el diseño de una metodología estructurada para la formulación y evaluación de proyectos industriales, especialmente útil en estudios de prefactibilidad y factibilidad. Esta metodología propone un enfoque integral que considera aspectos técnicos, económicos, sociales, legales, ambientales y organizacionales, con el fin de evaluar la viabilidad de un proyecto antes de su implementación.

#### **5.1.4.4. Otras Metodologías Internacionales**

Además de los enfoques ampliamente utilizados como la Metodología General Ajustada (MGA), el Marco Lógico (MML) y la metodología ONUDI, existen otros marcos conceptuales promovidos por organismos multilaterales y agencias de cooperación internacional que ofrecen herramientas valiosas para la planificación, ejecución y evaluación de proyectos de desarrollo.

##### **a) Banco Mundial**

El Banco Mundial ha establecido un ciclo estructurado para la gestión de proyectos que financia en países en desarrollo. Este ciclo comprende ocho etapas:

1. Estrategia de asistencia para el país (Country Assistance Strategy - CAS).
2. Identificación del proyecto.
3. Preparación técnica.
4. Evaluación inicial.

5. Negociación y aprobación.
6. Implementación.
7. Monitoreo y cierre.
8. Evaluación ex post.

Este enfoque promueve una evaluación continua desde el diseño hasta el cierre, e incorpora consideraciones ambientales, sociales y de gobernanza (Banco Mundial, 2017). Es de particular interés para empresas o gobiernos que participan en proyectos financiados por esta entidad.

#### **b) Banco Interamericano de Desarrollo (BID)**

El BID emplea dos instrumentos principales para facilitar la preparación y ejecución de proyectos:

- Project Preparation Facility (PPF): Mecanismo de financiación anticipada destinado a la preparación técnica y económica de proyectos potenciales.
- Project Preparation and Execution Facility (PROPEF): Mecanismo más flexible que permite financiar tanto la preparación, como la ejecución inicial de proyectos. Está orientado a operaciones complejas y multisectoriales.

Estas herramientas permiten mejorar la calidad del diseño de los proyectos antes de la aprobación formal del financiamiento, reduciendo riesgos y retrasos (BID, 2008).

#### **c) ZOPP**

El método ZOPP (Zielorientierte Planung) es una metodología alemana desarrollada por la GTZ (ahora GIZ), centrada en la planificación participativa de proyectos. Su objetivo es mejorar la calidad y coherencia del diseño de proyectos a través de la participación activa de todos los actores involucrados.

ZOPP utiliza herramientas como el análisis de problemas, el análisis de objetivos y la matriz de planificación del proyecto, promoviendo la transparencia, la corresponsabilidad y el consenso. Se estructura en las siguientes etapas (GTZ, 2013):

- Análisis de la situación: Diagnóstico del entorno, identificación de actores y factores críticos.
- Elaboración de la matriz del proyecto: Herramienta visual que vincula objetivos, actividades, recursos, indicadores y supuestos.
- Diseño del programa operativo: Asignación de tiempos, responsabilidades y presupuesto.
- Seguimiento y evaluación: Mecanismos de control para monitorear avances y resultados.

ZOPP se aplica especialmente en proyectos de desarrollo social, comunitario, ambiental o institucional, y puede ser complementario a otras metodologías como el Marco Lógico y los planes de contingencia.

### **5.1.5. ESTUDIOS FUNDAMENTALES METODOLOGÍA – ONUDI**

La metodología de formulación y evaluación de proyectos promovida por la ONUDI abarca una serie de estudios especializados, cuyo resultado integrado conforma el estudio de prefactibilidad o factibilidad del proyecto.

#### **1. Estudio del entorno y análisis sectorial**

Examina el contexto macroeconómico y sectorial en el cual operará el proyecto. Incluye el análisis de factores del entorno general (económicos, sociales, tecnológicos, normativos, etc.) y del entorno específico del sector industrial o de mercado del proyecto (Franco & Montoya, 2012). Su objetivo es identificar oportunidades y amenazas externas que puedan influir en el éxito del proyecto. Un correcto análisis del entorno ayuda a anticiparse y tomar medidas para minimizar riesgos externos y aprovechar tendencias favorables.

#### **2. Estudio de mercado**

Analiza la oferta y demanda del producto o servicio que generará el proyecto, delimitando su mercado objetivo. Este estudio investiga los clientes potenciales, sus necesidades y preferencias, así como la existencia de productos sustitutivos o competidores en la zona de influencia (Franco & Montoya, 2012). La finalidad principal es determinar si existe una demanda suficiente que justifique la puesta en marcha del proyecto y que permita recuperar la inversión. Para ello se realizan estimaciones de la demanda actual y futura, análisis de precios, estrategias de comercialización y canales de distribución. Un buen estudio de mercado orienta la estrategia del proyecto hacia la satisfacción de necesidades reales de los consumidores y permite definir las características del producto (o servicio) para asegurar un ciclo de vida adecuado en el mercado (Franco & Montoya, 2012).

#### **3. Estudio técnico**

Define la viabilidad técnica y operativa del proyecto, determinando los medios necesarios para producir el bien o servicio de manera eficiente. Incluye la selección del proceso de producción, la determinación del tamaño óptimo de planta (capacidad de producción), la localización geográfica ideal, el diseño de las instalaciones y la tecnología a emplear (Franco & Montoya, 2012). El estudio técnico especifica los requerimientos de insumos y recursos: obras físicas, maquinaria y equipos, personal operativo, materias primas y servicios auxiliares. A partir de ello, se cuantifica la inversión inicial necesaria (en terrenos, equipos, instalaciones, etc.), los costos operativos directos e indirectos, y se elabora un plan de producción. En resumen, este estudio garantiza que el proyecto se puede hacer en la práctica y

proporciona los datos para estimar con precisión los costos de inversión y operación asociados (Franco & Montoya, 2012).

#### 4. Estudio organizacional (administrativo)

Establece la estructura organizativa y los recursos humanos requeridos para la puesta en marcha y operación del proyecto. Define el modelo de organización, el gobierno corporativo del proyecto (si será una nueva empresa o una unidad dentro de una existente), así como el número de empleados, sus cargos y perfiles, la modalidad de contratación, las políticas salariales y de capacitación, etc. (Franco & Montoya, 2012). Este estudio también determina las funciones y responsabilidades dentro de la organización del proyecto, proponiendo un organigrama acorde con las necesidades operativas. Su finalidad es asegurar que el proyecto cuente con una estructura administrativa eficiente y con el personal idóneo para dirigir y ejecutar las actividades, minimizando riesgos de gestión. Un diseño organizacional adecuado contribuye a la sostenibilidad del proyecto en el largo plazo, al definir procedimientos administrativos claros y sistemas de gestión para las áreas clave (producción, ventas, finanzas, RR.HH., etc.).

#### 5. Estudio legal y regulatorio

Evalúa la viabilidad legal del proyecto y los requisitos jurídicos para su realización, así como su marco tributario. Implica identificar las leyes, normas y regulaciones aplicables al tipo de proyecto (por ejemplo, requisitos para constituir la empresa, obtener licencias, permisos ambientales, patentes, concesiones, etc.) y determinar si alguna normativa podría impedir o condicionar el desarrollo del negocio (Franco & Montoya, 2012). Según (Sapag Chain et al., 2014) este análisis determina si existen normas que restrinjan la ejecución del proyecto o que impongan condiciones mínimas a cumplir para poder implementarlo. También se consideran los aspectos fiscales, es decir, el régimen impositivo que gravará al proyecto (impuesto a la renta, IVA, aranceles de importación de equipos, incentivos tributarios vigentes, etc.), ya que la carga fiscal influye en la rentabilidad financiera. En resumen, el estudio legal-fiscal asegura que el proyecto esté jurídicamente respaldado: identifica barreras legales a sortear, costos asociados al cumplimiento normativo y optimiza la estructura legal para el éxito del proyecto (por ejemplo, el tipo societario más conveniente, contratos necesarios, régimen aduanero, etc.).

#### 6. Estudio ambiental

Analiza los impactos ambientales potenciales de la implementación y operación del proyecto, así como las medidas de mitigación necesarias. Dada la creciente importancia del desarrollo sostenible, este estudio identifica cómo las actividades del proyecto podrían afectar el medio ambiente (contaminación, emisiones, uso de recursos naturales, afectación de ecosistemas) y propone acciones para prevenir, mitigar o compensar los efectos negativos (Franco & Montoya, 2012). Se examinan las normas ambientales aplicables y se determina la viabilidad ambiental en términos de obtener permisos (por ejemplo, licencias ambientales) y cumplir

estándares de calidad ambiental. La integración temprana de consideraciones ambientales permite ajustar el diseño del proyecto para minimizar impactos sobre la comunidad y los recursos naturales, asegurando que el proyecto no comprometa las condiciones de vida de las generaciones presentes y futuras (Franco & Montoya, 2012).

## 7. Estudio financiero

Es un componente central de la evaluación, donde se determina la rentabilidad económica-financiera del proyecto para los inversionistas. A partir de la información recopilada en los estudios previos (inversiones requeridas, costos operativos, proyecciones de ventas, etc.), se elabora el flujo de caja del proyecto año a año durante su horizonte de evaluación. Este flujo de caja considera los ingresos esperados, los costos y gastos, las inversiones, financiamiento y pagos de impuestos, para luego calcular indicadores financieros clave como:

- Valor Presente Neto (VPN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Relación Beneficio-Costo (B/C)
- Costo Anual Equivalente (CAUE)
- IRVA (Incremento de Riqueza de Valor Actual)

El estudio financiero, junto con los demás, proporciona la base cuantitativa para la toma de decisiones: si los resultados muestran que el proyecto es rentable y factible en todas las dimensiones analizadas, se recomendará su ejecución; de lo contrario, se deberán reconsiderar las alternativas o abandonar la iniciativa.

### **Enfoque frente al riesgo**

Aunque la metodología ONUDI no contempla una herramienta específica de gestión de riesgos durante la preparación, establece que cada uno de los estudios parciales debe incluir la identificación y evaluación de riesgos específicos. Esto permite advertir a los formuladores e inversionistas sobre variables críticas que podrían afectar el éxito del proyecto.

Cada uno de estos análisis a nivel de prefactibilidad proporciona información crítica para valorar la viabilidad integral del proyecto, especialmente en iniciativas industriales como la creación de una fábrica de transformadores eléctricos en Colombia, donde intervienen factores complejos de mercado, regulación eléctrica, insumos importados, tecnologías específicas y cumplimiento ambiental.

## 6. FUNDAMENTOS TÉCNICOS: TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

### 6.1. MARCO CONCEPTUAL

Los transformadores eléctricos son dispositivos fundamentales en los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Su función principal consiste en modificar los niveles de tensión en corriente alterna, facilitando así el transporte eficiente de energía a largas distancias con menores pérdidas. Este proceso se logra mediante el principio de inducción electromagnética, permitiendo que la energía generada en centrales eléctricas llegue a los centros de consumo con mínimas pérdidas por efecto Joule (Pansini, 2007).

El aumento de la tensión en los niveles de transmisión reduce la corriente eléctrica en el sistema, lo cual disminuye proporcionalmente las pérdidas resistivas ( $I^2R$ ) en los conductores. De esta manera, el transformador cumple un papel clave en la eficiencia energética del sistema eléctrico.

A continuación, se presentan algunos conceptos técnicos esenciales para la comprensión del funcionamiento y la evaluación de transformadores eléctricos:

- Relación de transformación: Es la proporción entre el número de espiras del devanado primario y el secundario. Determina la magnitud del cambio de tensión y corriente entre entrada y salida. Una relación 10:1, por ejemplo, implica una reducción de la tensión de entrada en un factor de 10 (IEEE, 2015).
- Eficiencia energética: Se define como la relación entre la potencia de salida útil y la potencia de entrada total suministrada. Los transformadores de alta eficiencia son clave para reducir pérdidas operativas a largo plazo, especialmente en redes de distribución.
- Pérdidas eléctricas: Se clasifican principalmente en:
  - Pérdidas en el núcleo (histéresis y corrientes parásitas): Asociadas a la magnetización del material ferromagnético.
  - Pérdidas en el cobre: relacionadas con la resistencia eléctrica de los devanados al paso de corriente.

### 6.2. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES

La historia de los transformadores eléctricos se remonta a los fundamentos de la inducción electromagnética, descubierta por Michael Faraday en 1831, quien demostró experimentalmente que una corriente eléctrica variable en un conductor puede inducir una corriente en otro conductor cercano (Hughes, 1993). Este hallazgo sentó las bases teóricas para el desarrollo posterior de dispositivos de transformación de voltaje.

En 1881, los ingenieros Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs construyeron los primeros prototipos funcionales de transformadores, utilizando núcleos de hierro

para mejorar la eficiencia del acoplamiento magnético. No obstante, fue William Stanley, en 1886, quien desarrolló el primer transformador práctico para uso comercial, al introducir el concepto de un núcleo cerrado en forma de E y devanados independientes, capaz de operar de manera eficiente en sistemas de corriente alterna (AC).

Durante el siglo XX, el desarrollo de nuevos materiales magnéticos de baja pérdida, mejores técnicas de aislamiento y sistemas de refrigeración permitieron una mejora sustancial en la eficiencia, potencia y confiabilidad de los transformadores. La estandarización promovida por organismos como la IEEE y la IEC facilitó la interoperabilidad y el crecimiento de los sistemas eléctricos a gran escala.

En la actualidad, la industria de los transformadores ha evolucionado hacia tecnologías digitales e inteligentes. Los transformadores inteligentes, equipados con sensores IoT (Internet de las Cosas), permiten la monitorización en tiempo real, la detección temprana de fallas y el mantenimiento predictivo, lo que mejora la confiabilidad operativa y reduce los costos de operación y mantenimiento.

Esta evolución histórica refleja el papel estratégico de los transformadores en el desarrollo de los sistemas eléctricos modernos, así como la necesidad continua de innovación tecnológica para responder a las nuevas demandas energéticas y criterios de sostenibilidad.

### **6.3. PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO**

El funcionamiento de los transformadores eléctricos se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, formulado por Michael Faraday en 1831. Este principio establece que una variación en el flujo magnético que atraviesa un circuito cerrado genera una fuerza electromotriz (fem) en dicho circuito. En un transformador, esta propiedad se aprovecha para inducir una tensión en un devanado secundario a partir de una corriente alterna que circula por un devanado primario enrollado sobre un núcleo ferromagnético común (Chapman, 2012).

La relación de transformación entre los voltajes y el número de espiras de los devanados está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Donde:

- $V_1$  y  $V_2$  son las tensiones del devanado primario y secundario, respectivamente.
- $N_1$  y  $N_2$  representan el número de espiras en cada devanado.

Esta relación indica que un transformador puede aumentar (elevador) o reducir (reductor) la tensión de una señal de corriente alterna, sin alterar su frecuencia. La

transferencia de energía entre los devanados se realiza sin contacto eléctrico directo, gracias al acoplamiento magnético proporcionado por el núcleo.

En condiciones ideales (sin pérdidas resistivas ni magnéticas), los transformadores pueden alcanzar eficiencias superiores al 98%, aunque en la práctica esta eficiencia se ve ligeramente reducida por las pérdidas en el cobre y en el núcleo (Pérez Londoño & López Quintero, 2018). Estos dispositivos son, por tanto, componentes esenciales para garantizar un transporte de energía confiable, seguro y eficiente a lo largo de la red eléctrica.

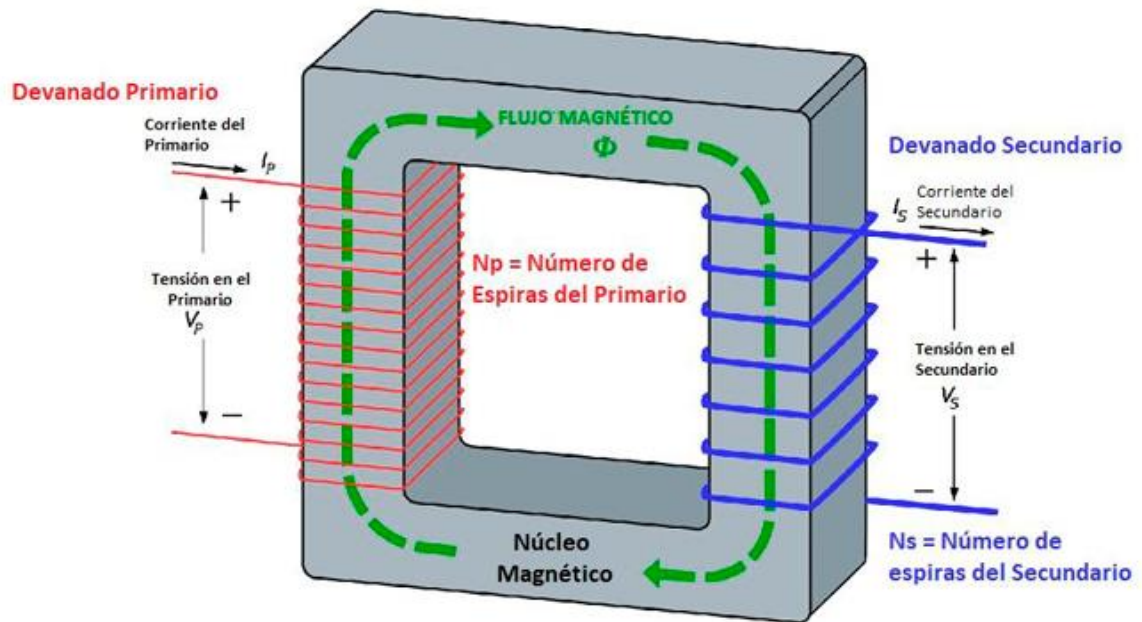
#### **6.4. COMPONENTES PRINCIPALES**

Los transformadores eléctricos están conformados por una serie de elementos que cumplen funciones específicas e interdependientes. A continuación, se describen sus principales componentes internos y externos, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la norma (IEC 60076, 2011):

- Núcleo magnético: Constituye el corazón del transformador. Está fabricado en material ferromagnético (generalmente chapas de acero al silicio) que canalizan el flujo magnético entre los devanados. Su diseño y calidad influyen directamente en las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas, afectando la eficiencia general del equipo.
- Devanados: Son conductores (usualmente de cobre o aluminio) enrollados alrededor del núcleo en forma de bobinas. El devanado primario recibe la tensión de entrada, mientras que el secundario entrega la tensión transformada. La disposición física de los devanados está diseñada para optimizar el acoplamiento magnético y la disipación térmica.
- Sistema de aislamiento: Este sistema separa eléctricamente los devanados del núcleo y entre sí, garantizando la seguridad operativa y la durabilidad del equipo. Se emplean materiales como papel kraft, aceite mineral dieléctrico, resinas epóxicas o materiales compuestos, según el tipo y aplicación del transformador.
- Sistema de refrigeración: Es esencial para disipar el calor generado por las pérdidas internas. Los sistemas más comunes son:
  - ONAN (aceite natural – aire natural).
  - ONAF (aceite natural – aire forzado).
  - AN (aire natural) para transformadores secos.
  - También existen opciones con aceites vegetales o fluidos dieléctricos biodegradables para aplicaciones ecológicas.
- Accesorios y dispositivos de protección: Incluyen elementos como el relé Buchholz (que detecta acumulación de gases), válvulas de sobrepresión, indicadores de nivel de aceite, termómetros, desecadores, y termocuplas para monitoreo térmico. Estos dispositivos permiten el control y supervisión continua del funcionamiento del equipo y su intervención ante fallas.

La correcta selección, dimensionamiento e integración de estos componentes garantiza el rendimiento óptimo, la vida útil prolongada y la seguridad operativa del transformador.

Figura 1. Transformador Eléctrico



Fuente: tomada de (TECSA, 2019).

## 6.5. TIPOS DE TRANSFORMADORES

Los transformadores eléctricos se clasifican según diferentes criterios como su función, nivel de tensión, medio de enfriamiento y configuración de construcción. A continuación, se describen los principales tipos utilizados en la industria eléctrica.

### 6.5.1. Transformadores de Distribución

Son utilizados para reducir la tensión de los sistemas de media o alta tensión a niveles adecuados para el uso final en residencias, comercios e industrias. Se ubican cerca de los puntos de consumo y operan generalmente en el rango de 15 kVA a 5000 kVA. Su diseño prioriza la eficiencia energética, bajo mantenimiento y operación continua en exteriores o gabinetes sellados (Pansini, 2007).

### **6.5.2. Transformadores de Potencia**

Estos transformadores operan en altos niveles de tensión y potencia, y son fundamentales en la transmisión de energía eléctrica a largas distancias. Generalmente superan los 10 MVA y pueden trabajar en tensiones de hasta 500 kV o más. Se instalan en subestaciones de generación, transmisión o interconexión y suelen estar dotados de sistemas de refrigeración complejos debido a sus elevadas exigencias térmicas.

### **6.5.3. Transformadores Secos**

Los transformadores secos no utilizan líquidos dieléctricos para refrigeración, sino que emplean aire o resinas epóxicas para el aislamiento térmico y eléctrico. Son ideales para instalaciones interiores donde el riesgo de incendio o contaminación debe minimizarse, como hospitales, centros comerciales y edificios corporativos. Su mantenimiento es bajo, y su resistencia ambiental ha mejorado gracias a los avances en encapsulados (ABB Ltd, 2021).

### **6.5.4. Transformadores en Aceite**

Estos equipos utilizan aceite mineral o vegetal dieléctrico como medio de enfriamiento y aislamiento interno. Son los más utilizados en exteriores y redes de distribución convencionales, ya que soportan sobrecargas térmicas mayores y facilitan una mayor durabilidad. No obstante, requieren controles ambientales más estrictos debido a posibles fugas y riesgos de inflamabilidad.

### **6.5.5. Otros Tipos Especiales**

Existen también transformadores con configuraciones especiales adaptadas a necesidades específicas:

- Autotransformadores: Comparten una parte del devanado entre entrada y salida, lo que permite una construcción más compacta y eficiente para aplicaciones industriales o arranque de motores.
- Transformadores de medida: Se utilizan para reducir niveles de tensión y corriente a valores manejables para instrumentos de medición o protección.
- Transformadores de impulso: Empleados en pruebas de alta tensión o en sistemas de telecomunicaciones, generan pulsos eléctricos de alta energía y corta duración.

La adecuada selección del tipo de transformador depende del contexto operativo, la potencia requerida, las condiciones ambientales y la normativa técnica aplicable.

## **6.6. APLICACIONES Y USOS SEGÚN EL SECTOR**

Los transformadores eléctricos tienen una amplia gama de aplicaciones en distintos sectores de la economía, adaptándose a las características operativas y niveles de demanda específicos de cada uno. Su versatilidad y capacidad de transformar niveles de tensión los convierten en un componente esencial en toda la cadena de suministro eléctrico.

En el sector industrial, los transformadores son fundamentales para alimentar maquinaria pesada, líneas de producción automatizadas y sistemas de control de motores eléctricos. Estos equipos requieren altos niveles de potencia y estabilidad en el suministro, por lo que se emplean transformadores de potencia y distribución con características especiales de aislamiento térmico, robustez mecánica y capacidad de sobrecarga.

En entornos residenciales y comerciales, se utilizan transformadores de distribución para asegurar un suministro eléctrico estable y seguro a edificios, hogares, oficinas, centros comerciales y hospitales. Estos transformadores suelen estar ubicados en gabinetes metálicos sellados o en postes, y están diseñados para mantener niveles adecuados de tensión que cumplan con las regulaciones técnicas de calidad del servicio.

En el ámbito de las energías renovables, los transformadores son esenciales para integrar plantas solares fotovoltaicas y parques eólicos a la red eléctrica. En estas aplicaciones, transformadores elevadores son utilizados para aumentar la tensión generada por los inversores o aerogeneradores hasta los niveles de media o alta tensión requeridos por la red. Además, deben contar con características especiales como resistencia a condiciones ambientales severas y compatibilidad con variaciones de carga intermitentes.

Finalmente, en el sector transporte, especialmente en los sistemas de electrificación ferroviaria, los transformadores permiten el acondicionamiento de la energía suministrada a los trenes eléctricos. Son utilizados para adaptar la tensión desde líneas de transmisión hasta el voltaje operativo requerido por los sistemas de tracción, ya sea en corriente alterna o continua. Estos transformadores deben cumplir con estrictos estándares de seguridad, confiabilidad y eficiencia energética.

Cada uno de estos sectores presenta requerimientos técnicos específicos, que deben ser tenidos en cuenta en el diseño y selección de transformadores eléctricos para garantizar un funcionamiento óptimo y conforme a las normativas.

## **6.7. IMPORTANCIA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO**

En el contexto colombiano, los transformadores eléctricos cumplen una función crítica dentro del sistema interconectado nacional (SIN), al permitir la transformación de niveles de tensión necesarios para la generación, transmisión y distribución de energía. Estos dispositivos aseguran la compatibilidad técnica entre los distintos

componentes de la red eléctrica, contribuyendo a su estabilidad, eficiencia y continuidad operativa.

En proyectos estratégicos como Hidroituango, el transformador cumple un papel determinante al elevar la tensión generada para su transporte en alta tensión hacia los centros de consumo. Este tipo de infraestructura de gran escala evidencia la relevancia de los transformadores de potencia para garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico nacional (XM, 2022).

Asimismo, en el sector de distribución, los transformadores permiten adaptar la energía a niveles seguros para el consumo residencial, comercial e industrial. Su correcto dimensionamiento y calidad influyen directamente en la reducción de pérdidas técnicas y en la mejora de indicadores de calidad del servicio eléctrico, tales como la continuidad y la estabilidad de la tensión.

Desde el punto de vista regulatorio, en Colombia rigen normas específicas como el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el cual establece requisitos obligatorios para la fabricación, instalación, mantenimiento y puesta en servicio de transformadores eléctricos. El cumplimiento del RETIE garantiza la seguridad de las personas, la protección de los bienes y la confiabilidad del sistema eléctrico.

La creciente integración de energías renovables y la expansión de la infraestructura energética en zonas rurales refuerzan aún más la necesidad de contar con transformadores eficientes, seguros y fabricados conforme a estándares internacionales, lo cual se convierte en una oportunidad estratégica para el desarrollo industrial del país.

## **6.8. AVANCES TECNOLÓGICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico en transformadores eléctricos ha estado orientado hacia la reducción de pérdidas energéticas, la mejora de la vida útil y la digitalización de los sistemas de monitoreo. Estos avances son fundamentales para aumentar la eficiencia del sistema eléctrico y reducir el impacto ambiental de la infraestructura energética.

Uno de los cambios más significativos ha sido el uso de materiales avanzados, como los núcleos de acero amorfo, que presentan una menor pérdida por histéresis en comparación con los aceros al silicio tradicionales. Este tipo de material permite reducir las pérdidas en vacío hasta en un 30%, lo cual representa un ahorro considerable en aplicaciones de operación continua.

En cuanto al medio de enfriamiento, los nuevos transformadores están incorporando fluidos dieléctricos biodegradables y no tóxicos, como los aceites vegetales naturales, que ofrecen mayor estabilidad térmica, menor riesgo ambiental en caso de fuga y mejor comportamiento frente al fuego, en comparación con los aceites minerales convencionales.

Otro avance clave es la digitalización, que ha dado origen a los llamados transformadores inteligentes. Estos dispositivos integran sensores IoT (Internet de las Cosas), comunicación remota y algoritmos de análisis de datos que permiten realizar diagnósticos predictivos del estado del equipo. Esto facilita el mantenimiento basado en condición, reduce tiempos de inactividad, y extiende la vida útil operativa de los transformadores.

Además, la incorporación de tecnologías como medición avanzada de carga, detección de sobrecalentamiento, alarmas remotas y seguimiento en tiempo real del envejecimiento del aceite, ha permitido una gestión más eficiente de los activos eléctricos, alineada con los principios de redes inteligentes (smart grids).

Estos desarrollos responden no solo a demandas operativas, sino también a criterios de sostenibilidad, eficiencia energética y cumplimiento de normativas ambientales internacionales como (IEC 60076, 2011) y estándares IEEE.

## **6.9. ESTADO DEL ARTE**

La evolución tecnológica de los transformadores eléctricos ha cobrado una importancia estratégica en el marco de la transición energética, la modernización de las redes eléctricas y la implementación de sistemas inteligentes de distribución (smart grids). En este contexto, la investigación y el desarrollo se enfocan en tres grandes tendencias: digitalización, eficiencia energética y tecnologías emergentes.

Una de las principales líneas de innovación es la digitalización de transformadores, que incorpora sensores, conectividad IoT (Internet de las Cosas), y plataformas de monitoreo remoto. Estos sistemas permiten recopilar datos en tiempo real sobre variables críticas como temperatura, carga, humedad del aceite, presencia de gases disueltos, entre otros. El análisis de estos datos mediante algoritmos de aprendizaje automático o inteligencia artificial permite implementar mantenimiento predictivo, reducir tiempos de inactividad y extender la vida útil del equipo (IEEE Spectrum, 2023).

A nivel industrial, fabricantes como Siemens, Hitachi Energy y ABB han lanzado al mercado transformadores inteligentes, integrados con diagnósticos en línea, comunicación SCADA y funciones adaptativas frente a sobrecargas. Estas soluciones han demostrado mejorar la disponibilidad operativa y reducir los costos de operación y mantenimiento en sectores industriales, energéticos y urbanos.

En paralelo, la investigación avanzada en nuevos materiales busca transformar el diseño convencional de los transformadores. Los superconductores de alta temperatura (HTS), por ejemplo, ofrecen la posibilidad de operar sin pérdidas resistivas, incrementando la densidad de potencia y reduciendo el tamaño y peso del equipo. Aunque aún están en fase experimental, proyectos piloto han sido desarrollados en Europa, Japón y Estados Unidos, con perspectivas prometedoras en aplicaciones urbanas y subterráneas de alta densidad energética.

Otra línea de innovación corresponde al uso de materiales ecológicos, como aceites biodegradables, núcleos amorfos de bajo consumo y componentes reciclables, en respuesta a las exigencias ambientales de sostenibilidad y economía circular.

Este panorama tecnológico demuestra que el sector de transformadores se encuentra en plena transformación, tanto en términos de eficiencia como de inteligencia operativa. Estos avances justifican la necesidad de una industria nacional capaz de integrar y desarrollar estas tecnologías, como plantea el presente estudio.

#### **6.10. PROBLEMÁTICAS ACTUALES**

En la actualidad, el sector de los transformadores enfrenta varios desafíos técnicos y ambientales que requieren soluciones innovadoras para garantizar su fiabilidad, sostenibilidad y eficiencia. Dos de los problemas más significativos son la obsolescencia de transformadores antiguos y los impactos ambientales asociados al uso de aceites minerales.

- **Obsolescencia de transformadores antiguos:** A medida que los transformadores envejecen, su rendimiento se ve afectado por el desgaste de los materiales y la acumulación de pérdidas por corrientes parásitas y resistivas. Esto incrementa el riesgo de fallas, especialmente en los equipos que operan en condiciones de sobrecarga o en entornos extremos. Según (Pérez Londoño & López Quintero, 2018), los transformadores antiguos pueden generar interrupciones en el suministro eléctrico, afectando tanto a la infraestructura crítica, como a las operaciones industriales. Además, estos equipos requieren un mantenimiento constante, lo que incrementa los costos operativos.
- **Desafíos ambientales del uso de aceites minerales:** Los aceites minerales, comúnmente utilizados como medio de refrigeración y aislamiento en transformadores, presentan riesgos ambientales considerables. En caso de fuga o derrame, estos aceites pueden contaminar suelos y cuerpos de agua, afectando la biodiversidad local y la calidad del medio ambiente. Ante estos problemas, se están buscando alternativas más ecológicas, como aceites vegetales y fluidos dieléctricos biodegradables, que minimicen el impacto ambiental sin comprometer el rendimiento del transformador.

La atención a estas problemáticas no solo es crucial para la sostenibilidad operativa, sino también para la reducción del impacto ambiental y la mejora de la eficiencia energética en el sector eléctrico.

#### **6.11. IMPACTO ECONÓMICO**

La implementación de transformadores más eficientes tiene un impacto directo en la reducción de costos operativos y en la prolongación de la vida útil de la

infraestructura eléctrica. Los transformadores que utilizan tecnologías avanzadas, como materiales amorfos en el núcleo, fluidos dieléctricos ecológicos y sistemas de refrigeración eficientes, logran reducir las pérdidas energéticas, lo que a su vez disminuye los costos asociados a la generación de electricidad y la distribución en la red (ABB Ltd, 2021). Según estudios recientes, las mejoras en la eficiencia energética pueden reducir las pérdidas en hasta un 30%, lo que representa un ahorro significativo en la operación continua de las plantas de energía y las redes de distribución.

Además, la digitalización de los transformadores mediante la implementación de sensores IoT y plataformas de monitoreo remoto permite el mantenimiento predictivo, lo que contribuye a minimizar interrupciones operativas y a reducir gastos inesperados. Esta capacidad de predecir fallas antes de que ocurran no solo reduce el tiempo de inactividad, sino que también optimiza el presupuesto destinado a mantenimiento y reemplazo de equipos, permitiendo que las inversiones en infraestructura sean más eficientes y menos costosas a largo plazo.

El impacto económico de estos avances tecnológicos se refleja en la reducción de costos operativos, la mejora de la fiabilidad de la red eléctrica, y la optimización de recursos, tanto en el ámbito industrial como en el residencial. Así, la transición hacia transformadores más eficientes no solo contribuye a la sostenibilidad del sistema eléctrico, sino también a la rentabilidad de las empresas del sector, brindando beneficios económicos a corto y largo plazo.

## **6.12. PERSPECTIVA AMBIENTAL**

El impacto ambiental de los transformadores eléctricos ha sido un tema de creciente preocupación, especialmente en lo que respecta a los materiales utilizados y la gestión de los residuos generados durante su operación y desecho. A medida que las normativas ambientales se vuelven más estrictas, la industria ha comenzado a adoptar prácticas más sostenibles, tanto en la fabricación como en la disposición de estos equipos.

Uno de los avances más importantes en esta área ha sido el uso de aceites biodegradables en lugar de aceites minerales tradicionales. Estos aceites, derivados de fuentes vegetales o sintéticas, ofrecen una alternativa más ecológica, ya que tienen una mayor capacidad de degradación natural en caso de derrames. Esto reduce significativamente los riesgos de contaminación del suelo y los cuerpos de agua, alineándose con las crecientes preocupaciones sobre la protección ambiental y la sostenibilidad.

Otro aspecto clave en la perspectiva ambiental de los transformadores es la gestión de residuos. Los transformadores al final de su vida útil pueden generar residuos como aceites contaminados, componentes metálicos y plásticos, que, si no se manejan adecuadamente, pueden contribuir a la contaminación. La economía circular se está convirtiendo en una tendencia global que promueve el reciclaje de

materiales y el reaprovechamiento de componentes de transformadores, como el cobre, el acero y el aluminio, para su uso en nuevos productos, minimizando así el desperdicio y reduciendo la necesidad de materias primas vírgenes.

Además, las iniciativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y para minimizar la huella de carbono de los procesos de fabricación están influyendo en el diseño de transformadores más eficientes desde el punto de vista energético. Estas iniciativas no solo ayudan a cumplir con los estándares ambientales internacionales, sino que también ofrecen a las empresas del sector una ventaja competitiva en el mercado global.

### **6.13. TENDENCIAS FUTURAS**

El campo de los transformadores eléctricos está evolucionando rápidamente, impulsado por avances tecnológicos que buscan mejorar la eficiencia, reducir el impacto ambiental y adaptarse a las nuevas demandas del mercado energético. Entre las principales tendencias futuras se encuentran:

- **Transformadores superconductores:** Los transformadores superconductores, que utilizan materiales con superconductividad a alta temperatura, tienen el potencial de eliminar las pérdidas resistivas inherentes a los transformadores convencionales. Al operar sin resistencia eléctrica, estos dispositivos pueden ser más compactos y más eficientes, permitiendo mayores capacidades de carga sin pérdidas significativas de energía. Aunque todavía están en fases de investigación y pruebas, los superconductores prometen revolucionar la industria al reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia general de la red eléctrica.
- **Microredes energéticas integradas con energías renovables:** Las microredes son sistemas locales de generación, distribución y almacenamiento de energía que pueden operar independientemente de la red eléctrica principal. Con la creciente integración de energías renovables, como la solar y la eólica, los transformadores juegan un papel esencial en la conexión de estas fuentes distribuidas al sistema de distribución de energía. Los transformadores en microredes permiten optimizar la distribución de energía en áreas locales, mejorar la fiabilidad del suministro y proporcionar mayor resiliencia frente a fallas de red.
- **Transformadores inteligentes con autodiagnóstico y mantenimiento remoto:** La digitalización de los transformadores ha abierto la puerta a dispositivos inteligentes, equipados con sensores IoT y tecnologías de monitorización remota. Estos transformadores son capaces de realizar autodiagnósticos y detectar anomalías en tiempo real, lo que permite una gestión predictiva del mantenimiento y una reducción de costos operativos. La capacidad de realizar diagnósticos remotos y mantener el equipo sin necesidad de intervención física reduce significativamente los tiempos de inactividad y los costos de reparación (IEEE Spectrum, 2023).

Estas tendencias no solo representan un cambio hacia sistemas más eficientes y sostenibles, sino también hacia una mayor digitalización e interconexión de la infraestructura energética, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad y eficiencia energética.

## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente capítulo describe el enfoque metodológico adoptado para la investigación, los métodos de recolección y análisis de información, así como el tipo y diseño de estudio. Esta sección tiene como finalidad justificar el camino seguido para responder a la pregunta de investigación y cumplir con los objetivos propuestos, asegurando la rigurosidad del proceso investigativo. En ese sentido, se explica la naturaleza del estudio, el enfoque adoptado (cuantitativo o cualitativo), las fuentes de información, las técnicas utilizadas y la delimitación del estudio.

### 7.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación adopta un enfoque metodológico mixto, que combina elementos cuantitativos y cualitativos de forma complementaria, en concordancia con la naturaleza multidimensional del estudio de prefactibilidad.

El enfoque cuantitativo se utiliza para analizar variables como la demanda del mercado, los costos de producción, la estimación de inversiones y la proyección de indicadores financieros. Este enfoque permite establecer relaciones estadísticas, realizar simulaciones y generar conclusiones medibles sobre la viabilidad del proyecto.

Según (Hernández Sampieri et al., 2014), “el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teoría” (p. 4).

Por su parte, el enfoque cualitativo se aplica al análisis de aspectos normativos, estratégicos y organizacionales, así como al contexto del entorno sectorial e institucional. Se sustenta en el análisis documental, la normativa vigente y entrevistas con actores clave del sector eléctrico.

En función del nivel de profundidad del estudio, el diseño metodológico incorpora los siguientes tipos de investigación:

- Exploratoria: Para conocer el contexto del mercado nacional de transformadores eléctricos y detectar posibles oportunidades o vacíos de oferta.
- Descriptiva: Para caracterizar el entorno legal, ambiental, técnico y comercial.
- Correlacional: Para examinar posibles relaciones entre variables como demanda, costos de producción, tiempo de entrega y rentabilidad.

La investigación se estructura siguiendo la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la cual establece una secuencia lógica y técnica de estudios para evaluar proyectos industriales. Esta

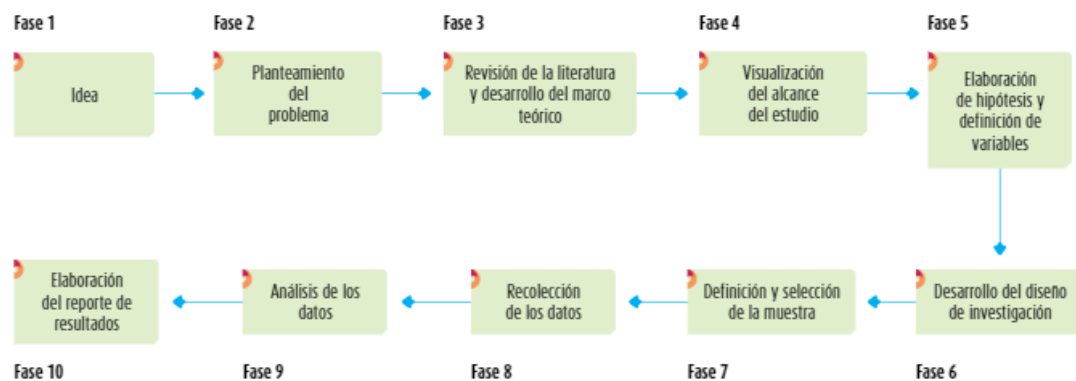
metodología contempla fases como: análisis del entorno, estudio de mercado, análisis técnico, organizacional, legal, ambiental, financiero y de riesgos, lo cual se ajusta plenamente al propósito del presente trabajo.

### 7.1.1. FASES DEL ENFOQUE CUANTITATIVO

El enfoque cuantitativo se caracteriza por seguir un proceso sistemático, estructurado y secuencial, que permite guiar el desarrollo de una investigación desde la formulación del problema, hasta la validación de resultados. De acuerdo con (Hernández Sampieri et al., 2014), este enfoque se apoya en la recolección de datos numéricos y el análisis estadístico para establecer relaciones entre variables y comprobar hipótesis de forma objetiva y verificable.

Las 10 fases que componen este enfoque metodológico se aplican de manera transversal al presente estudio, ya que orientan la formulación del problema, la revisión del entorno, la recolección de información del mercado y la industria, la evaluación financiera y la interpretación final de los resultados obtenidos en cada una de las áreas del estudio de prefactibilidad.

Figura 2. Fases del Enfoque Cuantitativo



Fuente: tomada de (Hernández Sampieri et al., 2014).

Estas fases permiten mantener la coherencia metodológica del trabajo, y aseguran que cada etapa, desde la definición de objetivos hasta la presentación de conclusiones, se sustente en evidencia verificable y procedimientos rigurosos, tal como lo exige un estudio de prefactibilidad.

### 7.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como propósito resolver un problema específico y real: la insuficiencia de oferta nacional de transformadores eléctricos en Colombia. En ese sentido, busca generar conocimiento útil y práctico

para la evaluación de la viabilidad técnica, económica, legal, ambiental y organizacional de una iniciativa industrial.

Asimismo, se trata de una investigación descriptiva, ya que permite caracterizar de manera detallada el entorno sectorial, las condiciones del mercado, los elementos técnicos y normativos, así como las capacidades actuales de producción en el país. La descripción sistemática de estas variables permite comprender el estado actual del contexto en el cual se pretende implementar el proyecto.

Adicionalmente, el estudio adopta un enfoque exploratorio, en tanto aborda una propuesta que no ha sido implementada previamente. Se analizan datos secundarios y proyecciones para entender la factibilidad de una inversión futura, en un escenario de alta incertidumbre. Este tipo de investigación es adecuado cuando se desea delimitar un fenómeno con poca información disponible, identificar oportunidades de intervención y orientar la toma de decisiones estratégicas (Hernández Sampieri et al., 2014).

Por último, se incorpora un componente correlacional, en la medida en que se busca analizar las relaciones entre variables clave del proyecto, como oferta y demanda, estructura de costos, capacidad instalada, tiempos de entrega y retorno económico, a través de herramientas financieras y de mercado.

### **7.1.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño metodológico adoptado para este estudio es de tipo no experimental, transversal y de campo.

Se considera un diseño no experimental, ya que no se manipulan deliberadamente las variables objeto de estudio, sino que se observan y analizan en su contexto real, tal como se presentan en el entorno económico, técnico y regulatorio del sector eléctrico colombiano. El estudio también se clasifica como transversal, en tanto se recolectan datos en un momento específico del tiempo, con el objetivo de describir y analizar el estado actual del mercado de transformadores eléctricos, los factores que inciden en su oferta y demanda, y las condiciones técnicas y legales para el desarrollo del proyecto industrial propuesto.

Finalmente, se trata de una investigación de campo, ya que parte del proceso implica la recolección directa de información en la realidad del objeto de estudio. Para ello se utilizarán técnicas como entrevistas semiestructuradas a expertos del sector, encuestas a actores clave del mercado y consultas con proveedores e instituciones regulatorias.

Este diseño es congruente con la naturaleza del enfoque mixto, pues permite combinar el análisis cuantitativo de variables económicas y técnicas con la interpretación cualitativa del entorno normativo e institucional.

#### **7.1.4. FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

En concordancia con el enfoque metodológico mixto, la investigación se apoya en fuentes primarias y secundarias para la recolección de información relevante, permitiendo una visión integral del contexto técnico, económico y normativo del proyecto.

##### **7.1.4.1. Fuentes Primarias**

Las fuentes primarias se recolectarán mediante técnicas directas de investigación en campo, como:

- Entrevistas semiestructuradas a expertos del sector eléctrico e industrial (fabricante y consultor), con el fin de obtener información cualitativa sobre el entorno de producción y comercialización de transformadores eléctricos.
- Encuestas dirigidas a potenciales usuarios del producto, pertenecientes a los sectores de construcción, infraestructura e industria, para estimar necesidades de compra, criterios de selección de proveedores y percepción de calidad y tiempos de entrega.
- Consultas a fabricantes y distribuidores nacionales, para conocer sus capacidades productivas, procesos actuales, tiempos de entrega y grado de cobertura del mercado nacional.

##### **7.1.4.2. Fuentes Secundarias**

Se utilizarán fuentes documentales y bases de datos institucionales para complementar el análisis y sustentar con información verificable cada uno de los estudios del proyecto:

- Informes oficiales del Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y XM.
- Plan Energético Nacional 2022–2050, como marco estratégico del crecimiento de la demanda y desarrollo del sector eléctrico colombiano (UPME, 2019).
- Bases estadísticas del DANE, DIAN y Banco de la República, para el análisis de importaciones, producción industrial, consumo eléctrico y tasas cambiarias.
- Estudios de mercado y tesis académicas relacionadas con manufactura eléctrica, evaluación de proyectos y tendencias en el sector energético.
- Normativa técnica y regulatoria vigente, como el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), Normas Técnicas Colombianas (NTC), resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), y normas ambientales de la ANLA.

### **7.1.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS**

Para el tratamiento, interpretación y validación de la información recolectada, se utilizarán diversas técnicas de análisis cualitativas y cuantitativas, de acuerdo con el enfoque mixto del estudio. Estas técnicas permitirán estructurar los hallazgos de manera coherente con los objetivos del proyecto y las etapas definidas por la metodología de la ONUDI.

A continuación, se detallan las principales herramientas y métodos de análisis que se aplicarán en cada componente del estudio:

#### **7.1.5.1. Análisis Estratégico del Entorno**

- Análisis PESTEL: Para identificar factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que influyen en el proyecto.
- Modelo de las 5 Fuerzas de Porter: Para evaluar el nivel de competencia en la industria, las barreras de entrada, el poder de negociación de proveedores y clientes, y la amenaza de productos sustitutos.
- Matriz DOFA: Para sintetizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto, y formular estrategias competitivas.

#### **7.1.5.2. Análisis de Mercado**

- Proyecciones de oferta y demanda: empleando técnicas de análisis de tendencias históricas, con base en datos del sector energético y eléctrico nacional.

#### **7.1.5.3. Análisis Técnico y Comparativo**

- Análisis de escalabilidad y capacidad instalada: para definir el tamaño óptimo de planta y los procesos industriales más adecuados.

#### **7.1.5.4. Análisis Financiero**

- Modelos de flujo de caja proyectados: para estimar ingresos, egresos, inversiones y costos operativos.
- Indicadores clave de rentabilidad:
  - Valor Presente Neto (VPN)
  - Tasa Interna de Retorno (TIR)
  - Relación Costo-Beneficio (RBC)
  - Periodo de Recuperación de la inversión (PRI)

#### **7.1.5.5. Evaluación Legal y Ambiental**

- Revisión normativa: De acuerdo con la legislación colombiana en materia ambiental, técnica y de seguridad eléctrica (RETIE, NTC, ANLA).

- Evaluación de impactos ambientales: considerando los efectos del proyecto sobre el entorno físico, social y económico local, y las medidas de mitigación requeridas.

Estas técnicas se aplicarán de forma integrada, siguiendo los lineamientos de autores como (Sapag Chain et al., 2014) y la metodología (ONUDI, 2004), ampliamente reconocida en la formulación y evaluación de proyectos industriales.

#### **7.1.6. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO**

Este estudio se encuentra delimitado en tres dimensiones fundamentales: geográfica, temporal y sectorial, con el fin de establecer con precisión el alcance del análisis de prefactibilidad y garantizar la coherencia metodológica del proyecto.

En cuanto al ámbito geográfico, el estudio se desarrolla en el contexto de Colombia, con especial énfasis en aquellas regiones que presentan un alto grado de industrialización y crecimiento en la demanda energética, tales como los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca y Santander. Estas zonas concentran una parte significativa de la actividad económica nacional, así como una infraestructura eléctrica en constante expansión, lo cual representa un entorno propicio para la instalación de una fábrica de transformadores eléctricos.

Respecto al ámbito temporal, la evaluación del proyecto contempla un horizonte de análisis de 10 años, contados a partir del inicio de la fase operativa. Este periodo es suficiente para analizar la recuperación de la inversión, la rentabilidad del negocio y la sostenibilidad técnica y financiera del proyecto, conforme a los criterios establecidos por la metodología de evaluación de proyectos industriales (ONUDI, 2004; Sapag Chain et al., 2014).

Finalmente, en relación con el ámbito sectorial, el estudio se enfoca en la industria eléctrica, particularmente en la producción de transformadores de distribución en media tensión, incluyendo los tipos pedestal, poste y subestación, que son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales, residenciales y de infraestructura pública. Este enfoque responde a la necesidad de diversificar la oferta nacional de estos equipos, mejorar los tiempos de entrega y fortalecer la autosuficiencia del sector eléctrico colombiano.

#### **7.1.7. TIPO DE MUESTRAS**

Para el análisis del mercado, se utilizará un muestreo aleatorio simple enfocado a personas del sector eléctrico, con el fin de garantizar la representatividad de los distintos segmentos del sector. El mercado será segmentado en tres grupos principales: fabricantes de transformadores, distribuidores mayoristas y clientes finales (constructores, industrias, operadores de red). Esta técnica permitirá recolectar datos cuantitativos de manera proporcional y representativa, mejorando la precisión de las proyecciones de oferta, demanda y precios.

En el caso del análisis técnico, normativo y de riesgos, se aplicará un muestreo no probabilístico por juicio o criterio experto, dado que se requiere información especializada y cualitativa proveniente de personas con experiencia específica en el sector eléctrico. Los participantes serán seleccionados deliberadamente, considerando su conocimiento técnico y su experiencia en proyectos industriales similares. Se prevé incluir expertos en diseño y operación de transformadores y actores vinculados a la industria eléctrica nacional.

Esta combinación de técnicas muestrales responde a la necesidad de integrar diferentes perspectivas y tipos de datos en un estudio de prefactibilidad, asegurando así la validez y pertinencia de los resultados obtenidos (Hernández Sampieri et al., 2014).

#### **7.1.8. TAMAÑO DE LA MUESTRA**

El tamaño de la muestra se define en función de la población objetivo, el nivel de confianza deseado, el margen de error aceptable y la variabilidad esperada en las respuestas. Para esta investigación, se determinará el tamaño muestral correspondiente al estudio de mercado, específicamente en el segmento de clientes potenciales de transformadores eléctricos de distribución en Colombia.

Debido a que no se cuenta con un censo exacto de usuarios industriales que demanden transformadores eléctricos, se considera una población infinita, lo que permite aplicar la siguiente fórmula para estimar el tamaño de muestra para poblaciones grandes:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra (37 encuestas)

Z = Valor crítico para un nivel de confianza del 90% → 1.65

p = Probabilidad de éxito (0,5, máxima variabilidad)

q = 1 - p

e = Margen de error permitido → 13,56%

En este caso, como no se puede acceder a una base de datos poblacional delimitada (clientes registrados o industriales con historial de compra de transformadores), la muestra se ajusta a la información disponible en el mercado.

Para el componente cualitativo (entrevistas a expertos), el tamaño de la muestra será intencionado y reducido, entre 2 y 3 participantes clave, considerando criterios

de experiencia, pertenencia institucional (fabricantes, reguladores, operadores) y diversidad de opiniones, hasta alcanzar saturación teórica.

## 8. DESARROLLO DEL TRABAJO

### 8.1. ESTUDIO SECTORIAL Y DEL ENTORNO

#### 8.1.1. ANÁLISIS PESTEL

El análisis PESTEL nos permite identificar los factores del entorno macroeconómico que pueden influir en la creación de una fábrica de transformadores eléctricos en Colombia. Este modelo considera seis dimensiones clave:

- **Político:** El sector energético en Colombia se encuentra regulado por múltiples entidades como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Ministerio de Minas y Energía. La existencia de políticas públicas de transición energética, tales como la Estrategia de Transición Energética Justa, favorece la inversión en infraestructura eléctrica, incluyendo la manufactura de transformadores (Ministerio de Minas y Energía, 2025).
- **Económico:** Según el (DANE, 2025), la economía colombiana ha mantenido una recuperación progresiva tras la pandemia, con proyecciones de inversión en infraestructura energética. Además, el crecimiento del sector industrial y la expansión de energías renovables representan oportunidades para el desarrollo de nuevas plantas de producción de equipos eléctricos.
- **Social:** El crecimiento poblacional y la urbanización aumentan la demanda de servicios básicos como la electricidad. Así mismo, el aumento de la conciencia sobre el uso eficiente de la energía ha generado un mercado más receptivo a soluciones tecnológicas avanzadas, como transformadores de alta eficiencia.
- **Tecnológico:** La industria de transformadores se beneficia de desarrollos tecnológicos en eficiencia energética, automatización de procesos y monitoreo en tiempo real. Tecnologías como sensores inteligentes y materiales avanzados están redefiniendo los estándares de diseño y producción (Chen et al., 2021).
- **Ecológico:** Existen crecientes exigencias ambientales en torno a los procesos de manufactura, especialmente en cuanto al uso de materiales reciclables, fluidos dieléctricos biodegradables y control de emisiones. Colombia ha adoptado medidas que promueven la producción limpia, lo cual implica adaptaciones técnicas en la industria de transformadores.
- **Legal:** La normatividad colombiana exige el cumplimiento de estándares técnicos y ambientales como la Norma Técnica Colombiana NTC 1489 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Asimismo, se deben tramitar licencias ambientales conforme a la Ley 99 de 1993 y el Decreto 1076 de 2015.

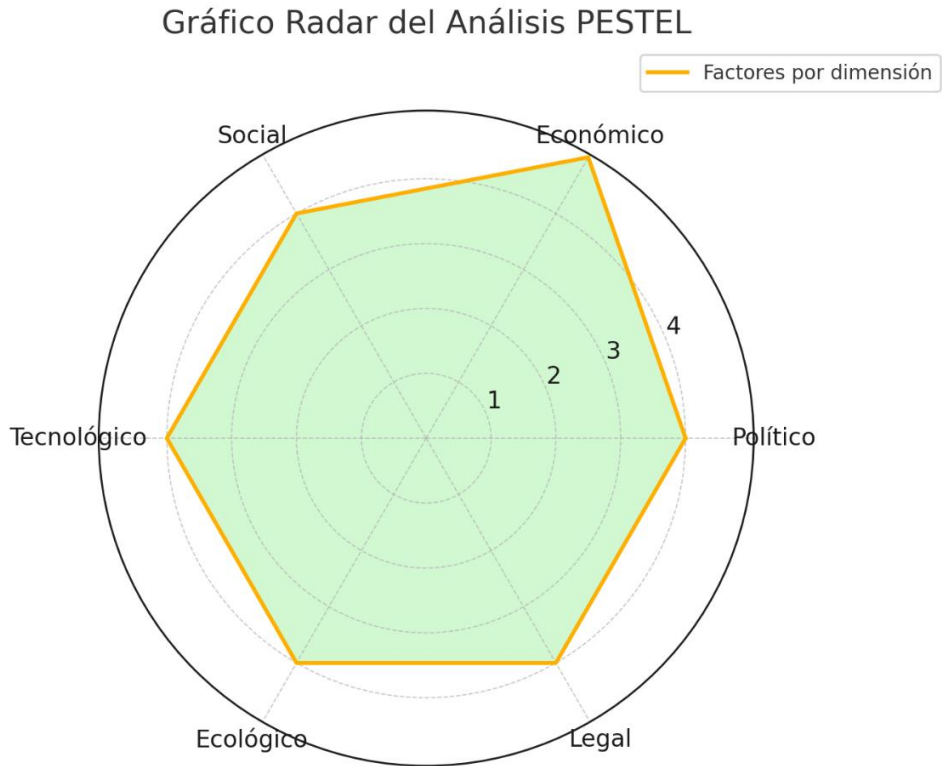
En la siguiente tabla se incluyen diferentes factores que se pueden identificar, esto nos ayuda a ampliar el impacto de cada una de las dimensiones planteadas en el análisis PESTEL.

Tabla 1. Factores para el Análisis PESTEL

<b>Dimensión</b>	<b>Factores Identificados</b>	<b>Impacto Estratégico</b>
Político	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidad institucional relativa en Colombia, con políticas de apoyo a la industria nacional.</li> <li>- Plan Energético Nacional 2020-2050 promueve la inversión en infraestructura eléctrica.</li> <li>- Incentivos gubernamentales para proyectos industriales en transición energética.</li> <li>- Legislación técnica obligatoria (RETIE) y promoción de certificaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Favorece el proyecto: Soporte institucional y marcos de inversión alineados.</li> <li>- Requiere cumplimiento estricto de normas técnicas.</li> </ul>
Económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crecimiento del sector energético: +3.5% anual (UPME, 2024).</li> <li>- Alta dependencia del dólar para insumos importados.</li> <li>- Dificultades logísticas y sobrecostos por importaciones.</li> <li>- Potencial para sustitución de importaciones y desarrollo de proveedores locales.</li> <li>- Acceso a créditos blandos (Bancóldex, Findeter).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riesgos por volatilidad cambiaria.</li> <li>- Oportunidad de industrialización nacional y apalancamiento financiero.</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta demanda de energía en centros urbanos e industrias.</li> <li>- Fuerte percepción de valor en marcas confiables en transformadores.</li> <li>- Demanda creciente de calidad, eficiencia y sostenibilidad por parte de los consumidores.</li> <li>- Necesidad de generación de empleo calificado y local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oportunidad para posicionamiento social del proyecto como motor de empleo y eficiencia energética.</li> </ul>

<b>Dimensión</b>	<b>Factores Identificados</b>	<b>Impacto Estratégico</b>
Tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avances en transformadores inteligentes (IoT, sensores, monitoreo en tiempo real).</li> <li>- Disponibilidad de tecnologías eficientes (núcleo amorfo, aceites biodegradables).</li> <li>- Brecha tecnológica en manufactura nacional que requiere alianzas y transferencia de conocimiento.</li> <li>- Oportunidad de industria 4.0.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oportunidad clave: Diferenciación a través de innovación.</li> <li>- Requiere inversión en adaptación tecnológica y capacitación.</li> </ul>
Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulaciones ambientales más estrictas.</li> <li>- Incentivos para uso de materiales sostenibles y reciclables.</li> <li>- Riesgos por uso de aceites minerales contaminantes.</li> <li>- Exigencias de certificaciones ambientales y análisis de ciclo de vida (ACV).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión regulatoria, pero oportunidad clara de diferenciación ambiental mediante tecnologías limpias.</li> </ul>
Legal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación obligatoria del RETIE para instalaciones y equipos eléctricos.</li> <li>- Cumplimiento de normativas internacionales IEC 60076 e IEEE C57 para exportación.</li> <li>- Necesidad de licencias ambientales, de funcionamiento y de construcción industrial.</li> <li>- Leyes laborales y fiscales estables con carga administrativa significativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta carga regulatoria. Es necesario prever costos legales, certificaciones y consultorías especializadas.</li> </ul>

Figura 3. Análisis PESTEL



El análisis PESTEL realizado para el proyecto permite identificar factores clave del entorno que inciden de manera significativa en la viabilidad y sostenibilidad del negocio.

Entre las principales oportunidades destacan el respaldo institucional y normativo por parte del Estado, el crecimiento sostenido de la demanda energética, los incentivos gubernamentales para proyectos sostenibles y la evolución constante de tecnologías aplicables a la eficiencia energética y digitalización de redes. Estos elementos favorecen el establecimiento de una industria nacional competitiva en el sector eléctrico.

No obstante, también se identifican riesgos importantes que deben ser gestionados estratégicamente. La volatilidad cambiaria afecta los costos de los insumos importados, la normativa técnica y ambiental exige un alto grado de cumplimiento, y existe una fuerte dependencia tecnológica del exterior, lo que puede limitar la autonomía productiva del proyecto si no se aborda adecuadamente.

Frente a este panorama, se establecen como impulsores estratégicos de decisión la inversión continua en innovación tecnológica, el fortalecimiento de alianzas con proveedores especializados, el desarrollo de capacidades locales para reducir la dependencia externa, y el cumplimiento normativo desde la fase de diseño del

proyecto. Estos ejes permitirán construir una ventaja competitiva sostenible y alinear el proyecto con las exigencias del entorno nacional e internacional.

### **8.1.2. MODELO DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER**

Este modelo permite analizar la dinámica competitiva en la industria de transformadores eléctricos:

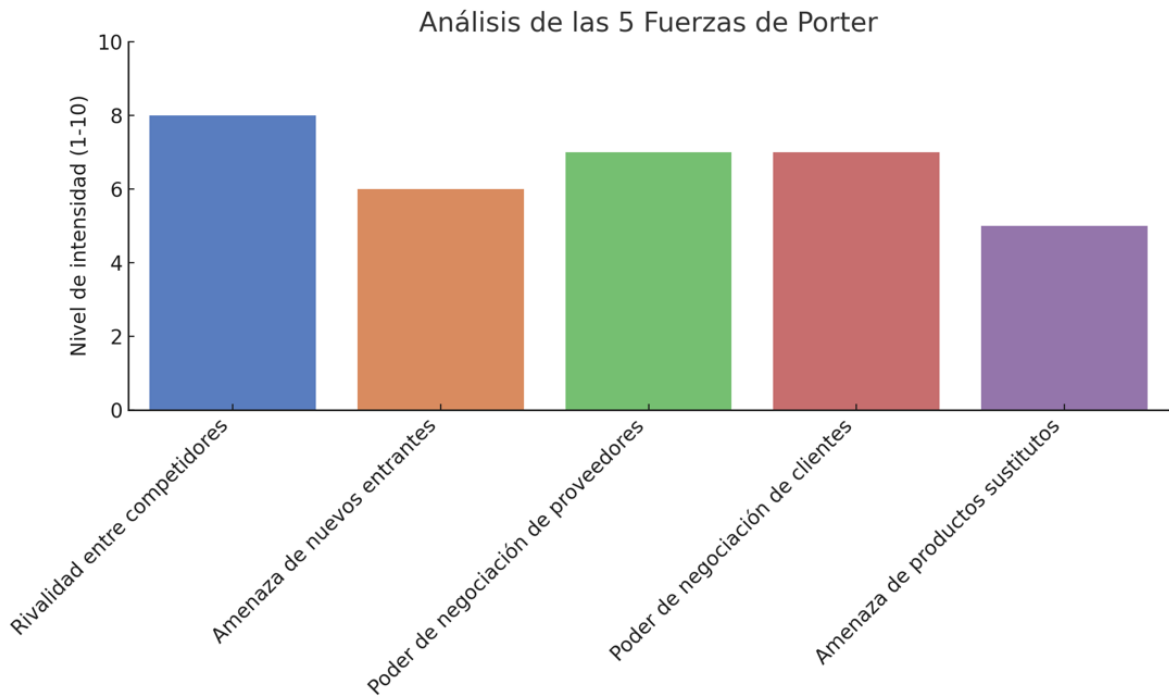
1. **Amenaza de nuevos entrantes:** Alta. Aunque la inversión inicial y los requisitos técnicos actúan como barreras, el creciente mercado energético y los incentivos estatales pueden facilitar la entrada de nuevos competidores.
2. **Poder de negociación de los proveedores:** Medio. La mayoría de los insumos críticos (cobre, acero, núcleos magnéticos) son importados, lo que puede generar dependencia frente a proveedores internacionales y variaciones en precios.
3. **Poder de negociación de los clientes:** Alto. Los compradores (empresas distribuidoras, operadores de red, constructoras) suelen tener conocimiento técnico y comparan precios y calidad entre múltiples oferentes, presionando los márgenes de ganancia.
4. **Amenaza de productos sustitutos:** Baja. Aunque existen tecnologías alternativas como sistemas de conversión electrónica, los transformadores eléctricos siguen siendo esenciales e insustituibles para la transmisión y distribución de energía.
5. **Rivalidad entre competidores existentes:** Alta. El mercado colombiano presenta empresas nacionales (Magnetron, TESLA) y extranjeras (ABB, Siemens) con presencia consolidada, lo cual genera una competencia intensa por precios, plazos de entrega y eficiencia.

En la siguiente tabla se incluyen diferentes factores que se pueden identificar, esto nos ayuda a ampliar el impacto de cada una de las fuerzas de Porter.

Tabla 2. Factores para el Análisis de las 5 Fuerzas de Porter

<b>Fuerza</b>	<b>Análisis específico</b>	<b>Impacto Estratégico</b>
Poder de negociación de los clientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mercado con pocos compradores institucionales y alta exigencia técnica.</li> <li>- Alto poder de negociación por volumen y alternativas internacionales.</li> <li>- Oportunidad de diferenciarse por cumplimiento normativo y servicio.</li> </ul>	- Alto poder de los clientes. Diferenciación y cumplimiento técnico son esenciales.
Poder de negociación de los proveedores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta dependencia de insumos importados especializados.</li> <li>- Pocos proveedores locales.</li> <li>- Volatilidad de costos sin acuerdos a largo plazo.</li> </ul>	- Riesgo Medio. Requiere alianzas estratégicas y planificación de compras.
Amenaza de nuevos competidores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión inicial y certificaciones actúan como barrera de entrada.</li> <li>- Riesgo si empresas extranjeras ingresan por incentivos estatales.</li> </ul>	- Amenaza moderada. Las barreras protegen, pero deben mantenerse innovaciones.
Amenaza de productos sustitutos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existen sustitutos funcionales directos.</li> <li>- Sí hay presión por tecnologías más eficientes (núcleos amorfos, subestaciones compactas).</li> </ul>	- Amenaza baja. La tecnología debe actualizarse constantemente.
Rivalidad entre competidores existentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presencia de multinacionales (ABB, Siemens, etc.).</li> <li>- Competencia fuerte en calidad, precio y normas técnicas.</li> <li>- Oportunidad de diferenciarse en servicio postventa, sostenibilidad, cercanía.</li> </ul>	- Rivalidad fuerte. Clave: cercanía al cliente, flexibilidad y sostenibilidad.

Figura 4. Modelo de las 5 Fuerzas de Porter



El análisis de las 5 Fuerzas de Porter aplicado al proyecto permite comprender el nivel de competitividad del mercado y definir estrategias clave para garantizar la sostenibilidad del negocio en el mediano y largo plazo.

En primer lugar, se evidencia un alto poder de negociación de los clientes, especialmente porque se trata de grandes consumidores institucionales que cuentan con opciones internacionales y demandan cumplimiento técnico riguroso. Por tanto, la diferenciación a través del cumplimiento normativo, el servicio postventa y los tiempos de entrega se convierte en una prioridad.

Asimismo, el poder de negociación de los proveedores representa una amenaza crítica para el proyecto, debido a la alta dependencia de insumos importados, la escasez de proveedores locales especializados y la vulnerabilidad ante la volatilidad del tipo de cambio. Esto plantea la necesidad de establecer alianzas estratégicas, acuerdos de largo plazo o incluso iniciativas de integración hacia atrás.

En cuanto a la amenaza de nuevos competidores, si bien existen barreras de entrada técnicas y de capital que ofrecen cierta protección, el crecimiento del mercado eléctrico colombiano podría atraer inversiones extranjeras, lo que exige mantener una propuesta de valor sólida y tecnológicamente actualizada.

Por otro lado, la amenaza de productos sustitutos es baja, ya que no existen alternativas funcionales directas a los transformadores. Sin embargo, sí hay una

presión creciente por el desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles, lo que obliga a incorporar tecnologías innovadoras como parte del portafolio.

Finalmente, la rivalidad entre competidores existentes es significativa, con presencia de multinacionales bien posicionadas y fabricantes locales establecidos. En este contexto, la clave del éxito está en desarrollar ventajas competitivas a través de la proximidad al cliente, la personalización, la innovación y la sostenibilidad.

En conclusión, el modelo de las 5 Fuerzas de Porter revela un entorno competitivo desafiante pero lleno de oportunidades, donde el posicionamiento estratégico adecuado será determinante para asegurar la viabilidad, el crecimiento y la diferenciación del proyecto.

### 8.1.3. MATRIZ DOFA

La matriz DOFA es una herramienta estratégica utilizada para identificar los factores internos y externos que influyen en un proyecto o empresa. Su nombre proviene de las siglas: Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. Esta metodología permite visualizar claramente los elementos sobre los cuales se deben tomar decisiones estratégicas, optimizando los recursos internos y preparándose frente a los desafíos externos.

A partir del análisis PESTEL y del modelo de Porter, se elabora la siguiente matriz DOFA para sintetizar los factores estratégicos clave:

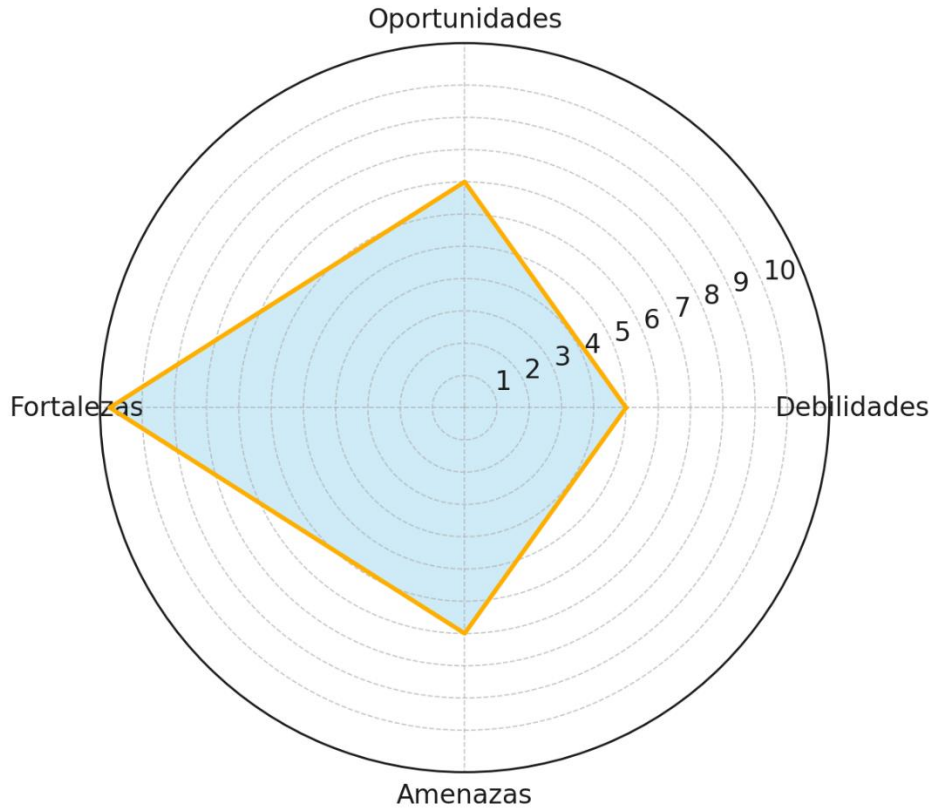
Tabla 3. Matriz para el Análisis DOFA

<b>Debilidades</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Amenazas</b>
Dependencia de insumos importados con alta exposición cambiaria.	Crecimiento del sector energético y expansión de infraestructura eléctrica.	Capacidad de fabricación nacional con potencial de sustitución de importaciones.	Volatilidad en el tipo de cambio y barreras logísticas para importaciones.
Falta de proveedores locales especializados.	Incentivos gubernamentales para la industria sostenible y energías limpias.	Cumplimiento de normativas técnicas como RETIE e NTC	Competencia con empresas multinacionales con economías de escala (ABB, Siemens, etc.).
Requiere alta inversión inicial en tecnología y certificaciones.	Disponibilidad de tecnologías emergentes aplicables (IoT, eficiencia energética).	Cercanía geográfica con clientes estratégicos (constructoras, sector energético).	Cambios en la regulación ambiental o técnica que aumenten costos.
Limitado posicionamiento frente a marcas	Apoyo institucional a proyectos de	Potencial para innovación tecnológica	Riesgos de entrada de nuevos competidores

<b>Debilidades</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Amenazas</b>
internacionales consolidadas.	manufactura nacional.	y diferenciación ambiental.	extranjeros con incentivos locales.
Limitaciones en la infraestructura productiva inicial y logística.	Políticas de sustitución de importaciones e incentivos a la industrialización nacional.	Conocimiento técnico en ingeniería eléctrica nacional.	Cambios en políticas energéticas que podrían desacelerar la inversión en infraestructura.
	Potencial exportador a países vecinos con demanda energética en expansión	Disponibilidad de talento humano especializado en universidades e institutos técnicos.	Dependencia de proveedores extranjeros de partes críticas (núcleos, bobinas especializadas).
	Financiación disponible para proyectos industriales sostenibles (PROCOLOMBIA, Bancoldex, BID).	Alineación del proyecto con políticas públicas (transición energética, producción nacional).	Restricciones ambientales y normativas exigentes que pueden afectar plazos o costos.
		Interés académico e institucional en el desarrollo de capacidades tecnológicas.	
		Potencial de incorporación de tecnologías modernas (IoT, eficiencia energética).	
		Creciente demanda de transformadores por expansión eléctrica.	
		Apoyo institucional a la industria en la contratación Pública	

Figura 5. Matriz DOFA

### Análisis DOFA - Gráfico de Red de Araña



El análisis DOFA realizado revela una posición estratégica con sólidas fortalezas internas, como la capacidad de manufactura nacional, cumplimiento normativo y proximidad a clientes clave, lo que genera un entorno propicio para consolidar una oferta local de transformadores eléctricos. Además, existen oportunidades externas significativas como el crecimiento del sector energético, los incentivos estatales a la sostenibilidad y la disponibilidad de nuevas tecnologías que fortalecen el contexto del proyecto.

No obstante, se deben atender debilidades críticas como la dependencia de insumos importados, la escasez de proveedores locales especializados y los altos requerimientos de inversión inicial. Del mismo modo, las amenazas externas, como la competencia internacional consolidada y la volatilidad cambiaria, exigen medidas estratégicas anticipadas.

## 9. ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado constituye una etapa fundamental dentro del análisis de prefactibilidad del proyecto, ya que permite identificar y evaluar las condiciones

reales de demanda, oferta, comercialización, precios y materias primas que inciden directamente en la viabilidad técnica y financiera de la fábrica de transformadores eléctricos. Este análisis proporciona información clave para la toma de decisiones estratégicas en las etapas subsiguientes del proyecto, en particular en lo relativo al diseño técnico, la planeación operativa y la evaluación económica.

Para ello, se aplicó un enfoque metodológico mixto que integró fuentes secundarias, como informes sectoriales, bases de datos gubernamentales, estudios de mercado previos y publicaciones académicas, junto con una investigación primaria basada en la aplicación de una encuesta estructurada y una entrevista semiestructurada a actores clave del sector eléctrico colombiano.

### **9.1. INVESTIGACIÓN DE MERCADO**

Como complemento al análisis secundario, se llevó a cabo una investigación de campo mediante una encuesta estructurada aplicada a 37 profesionales del sector eléctrico en Colombia, incluyendo ingenieros, jefes de compras, diseñadores y contratistas. Los encuestados pertenecen a empresas vinculadas a la construcción de subestaciones eléctricas, diseño de redes de distribución, comercialización de equipos eléctricos y mantenimiento de activos del sistema eléctrico nacional.

El propósito de la encuesta fue obtener información directa y actualizada sobre las tendencias de demanda, características técnicas requeridas, valoración de proveedores y disposición a adquirir transformadores de nuevos fabricantes nacionales. La encuesta constó de 11 preguntas cerradas, en su mayoría de opción múltiple y escala Likert.

Principales hallazgos:

- Oportunidades de mercado: El 91,9% de los participantes indicó que estaría dispuesto a adquirir transformadores producidos por un nuevo fabricante nacional, siempre que se garantice el cumplimiento de normativas técnicas y certificaciones de calidad.
- Producto: Los tipos de transformadores más comprados son los de potencia y distribución, consecuentes con la demanda actual del mercado.
- Frecuencias de compra: El 27% de los encuestados realiza la compra de un (1) transformador al año, el 24,3% trimestralmente y el 16,2% semestralmente, dependiendo de los proyectos en los que participan.
- Debilidades del mercado actual: El factor más criticado fue el tiempo de entrega de algunos proveedores actuales, seguido de la disponibilidad limitada de productos especializados y de servicio postventa.
- Factores decisivos en la compra: Según los resultados, los factores más valorados al elegir un proveedor son: calidad técnica del producto (94,6%), tiempos de entrega (75,7%) y precio competitivo (67,6%).

A continuación, se presentan algunos de los datos más representativos obtenidos de la encuesta realizada (ver Anexo A):

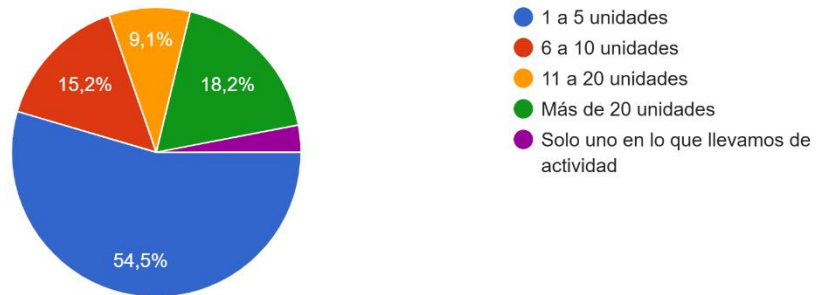
4. ¿Con qué frecuencia adquiere transformadores eléctricos?

37 respuestas



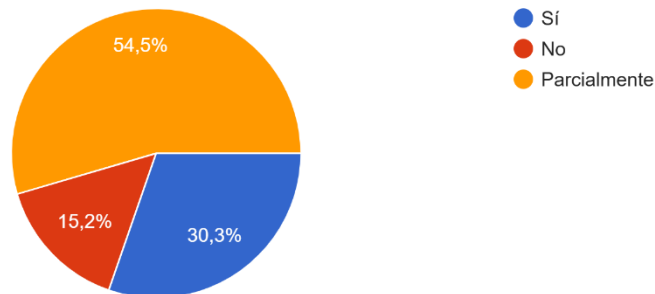
5. ¿Cuántas unidades en promedio, adquiere su empresa anualmente?

33 respuestas



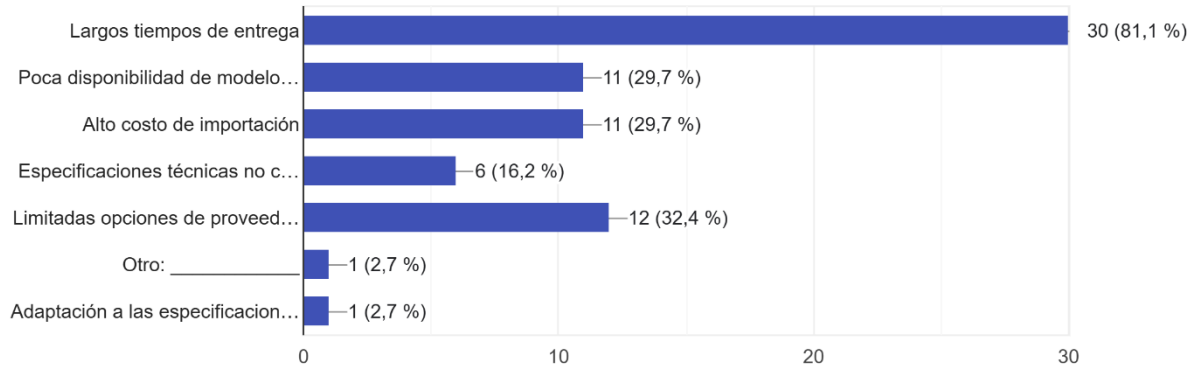
9. ¿Está satisfecho con el tiempo de entrega y atención al cliente de los actuales proveedores?

33 respuestas



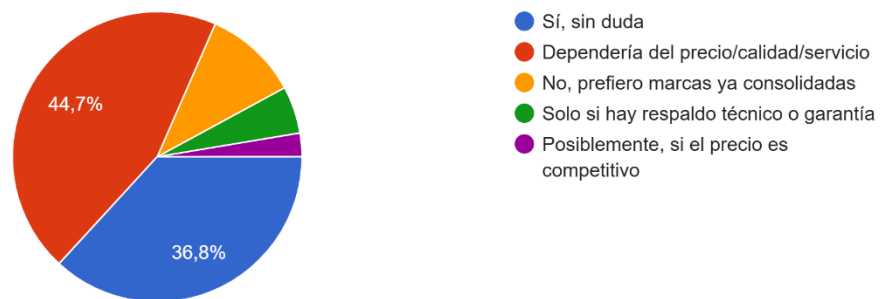
10. ¿Que dificultades ha encontrado en el proceso de selección de los proveedores? (Seleccione hasta tres)

37 respuestas



11. ¿Estaría dispuesto a adquirir transformadores producidos por un nuevo fabricante nacional que cumpla con las normativas y estándares internacionales?

37 respuestas



Como complemento al análisis cuantitativo de encuestas, se realizaron dos entrevistas semiestructuradas a expertos nacionales con amplia trayectoria en el sector, abordando temas técnicos, comerciales, logísticos y normativos. Los principales hallazgos se resumen a continuación.

Se entrevistó a Edward Castillo, ingeniero mecánico y actual gerente comercial de Tesla Transformadores. El entrevistado cuenta con más de 16 años de experiencia en el sector nacional de fabricación de transformadores eléctricos, habiendo ocupado cargos estratégicos en empresas como Magnetrón y Nacional de Transformadores (TESLA). La entrevista tuvo como objetivo profundizar en aspectos cualitativos del mercado, identificar barreras de entrada, factores de competitividad, tendencias tecnológicas y desafíos logísticos desde la perspectiva de un actor clave en la industria.

De este diálogo se destacan los siguientes hallazgos:

- **Dinamismo del mercado y crecimiento sostenido:** El mercado colombiano de transformadores está estrechamente correlacionado con el comportamiento del PIB nacional. A pesar de las fluctuaciones en sectores como la construcción, el dinamismo en telecomunicaciones, minería y energías renovables, ha permitido mantener una demanda sólida en 2024 y un crecimiento moderado en 2025.
- **Barreras de entrada y requisitos técnicos:** Iniciar operaciones en este sector requiere considerar criterios estratégicos como la ubicación geográfica de la planta, el acceso a puertos y rutas de abastecimiento, y la disponibilidad de mano de obra especializada. Además, los nuevos fabricantes deben cumplir con exigencias normativas rigurosas, especialmente con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), que implica certificaciones costosas por cada familia de producto (aproximadamente COP \$20-25 millones por familia), más las pruebas tipo, que pueden alcanzar los COP \$5-7 millones por unidad.
- **Innovación y automatización:** La adopción de tecnología juega un papel crítico en la competitividad. Por ejemplo, la automatización del proceso de corte de núcleos permite reducir el tiempo de fabricación de una semana a una jornada, mediante una inversión de cerca de un millón de dólares. La tecnificación de procesos como bobinado, ensamblaje y pruebas reduce la dependencia de mano de obra directa, mejora la trazabilidad y permite cumplir con estándares internacionales.
- **Competitividad nacional frente a importaciones:** Aunque fabricantes internacionales (especialmente de China, Turquía e India) ofrecen precios competitivos, los productores colombianos cuentan con una ventaja estratégica derivada del cumplimiento normativo local, tiempos de respuesta más cortos, soporte postventa y una ubicación geográfica favorable (con acceso a puertos en el Atlántico y Pacífico). En términos de calidad, se destaca que las empresas nacionales compiten “hombro a hombro” con multinacionales, siempre que se mantenga la calidad de materias primas, procesos, diseño y pruebas.
- **Recomendaciones para nuevos emprendimientos:** Entre las recomendaciones clave para el éxito de una nueva fábrica de transformadores en Colombia, se incluyen: acortar la curva de aprendizaje mediante contratación de talento con experiencia, invertir en software de diseño, garantizar el acompañamiento técnico de proveedores de materia prima, y proyectar una planta escalable en capacidad e infraestructura desde su fase inicial. También se enfatiza la necesidad de robustecer la cadena logística interna y mitigar los riesgos de abastecimiento, especialmente en materias primas críticas.

- Factores que afectan los tiempos de entrega: Los retrasos pueden originarse tanto en factores internos (planificación deficiente de inventarios, falta de rotación de materiales, subdimensionamiento de capacidades) como externos (crisis logísticas internacionales, paros portuarios, escasez de contenedores). Un enfoque integral en gestión de suministros es clave para asegurar tiempos competitivos en la entrega.

De igual forma, se entrevistó a Oscar Sierra, especialista retirado del área técnica de Suntec, con más de 25 años de experiencia. Sus aportes se centraron en hablar de las tendencias tecnológicas, la normatividad y los retos en manufactura y entrega. De este diálogo, se destacan los siguientes aspectos relevantes:

- Factores de crecimiento: El mercado colombiano de transformadores se encuentra en un constante crecimiento, ligado al apogeo de las energías alternativas, la expansión del parque automotor de vehículos, las exportaciones a EE.UU. y el creciente consumo energético por el uso de la inteligencia artificial.
- Normatividad como filtro de mercado: Se tienen varias barreras importantes, el primero es el costo inicial de la inversión el cual debe ser de última tecnología y constituye una inversión muy alta, también se tiene la formación profesional específica y sobretodo la exigencia de certificación bajo RETIE, IEC e IEEE que representa una barrera para productos no certificados, limitando su comercialización.
- Innovaciones clave: La tecnología más relevante se centra en la detección de fallas (descargas parciales), fabricación de equipos cada vez más eficientes y que minimicen las pérdidas operativas.
- Tecnología de manufactura recomendada: Se hace necesario el uso de equipos de precisión para corte de núcleo, bobinado, autoclaves e inyectoras de resina en vacío.
- Segmento recomendado: Entre las recomendaciones clave para el éxito de una nueva fábrica de transformadores en Colombia se sugiere explorar el mercado de los transformadores secos de hasta 1.000 kVA, orientado a un nicho específico.
- Desafíos críticos: Como el más importante se destaca la consolidación del talento humano, el acceso a las materias primas y la gestión eficiente del stock.

Los datos recolectados han sido analizados cualitativamente y cuantitativamente, y constituyen una base para validar la viabilidad del proyecto de crear una fábrica de transformadores, enfocada en segmentos aún desatendidos del mercado actual.

Ver Anexos A y B para el detalle de las encuestas y entrevista formulada.

## 9.2. PRODUCTO

El producto principal que se desarrollará en el proyecto es un transformador eléctrico, orientado a aplicaciones de distribución y potencia. Estos dispositivos son esenciales para el sistema eléctrico, ya que permiten elevar o reducir los niveles de tensión eléctrica con el fin de garantizar una transmisión eficiente de energía desde los centros de generación hasta los usuarios finales (CIDET, 2024).

Los transformadores propuestos para fabricación corresponden a dos tipos:

- Transformadores de distribución (10–1.250 kVA): Utilizados en zonas urbanas, rurales e industriales para suministrar energía a baja tensión.
- Transformadores de potencia (>5.000 kVA): Empleados en subestaciones y grandes centros de carga para integración a redes de transmisión o distribución.

Ambos tipos podrán fabricarse bajo configuraciones trifásicas y en versiones inmersos en aceite mineral dieléctrico o tipo seco encapsulados en resina epóxica, según los requerimientos técnicos del cliente.

Las características técnicas de los transformadores a producir incluirán:

- Rangos de potencia: 10 kVA hasta 30 MVA.
- Niveles de tensión: Hasta 44 kV (y proyectados hasta 115 kV a futuro).
- Frecuencia: 60 Hz.
- Tipo de enfriamiento: ONAN, ONAF o AN, según el diseño.
- Tipo de aislamiento: Aceite mineral dieléctrico o resina epóxica.
- Carcasa: Metálica hermética, con radiadores removibles en modelos de gran capacidad.
- Certificaciones: RETIE, IEC 60076, IEEE C57 (según mercado objetivo).

Estos productos serán desarrollados siguiendo estrictos estándares técnicos internacionales, garantizando confiabilidad, bajo nivel de pérdidas y seguridad operacional.

De acuerdo con el análisis del sector eléctrico colombiano, los transformadores demandados presentan una diversificación funcional dependiendo del nicho de mercado:

- Minería y petróleo: Equipos robustos, resistentes a ambientes con alta vibración, con requisitos de baja inflamabilidad.
- Energías renovables: Transformadores para conexión de plantas solares y eólicas, con dispositivos para mitigación de armónicos y adaptación a inyecciones bidireccionales de carga.
- Infraestructura urbana: Transformadores compactos para subestaciones en edificios, centros comerciales, zonas de carga eléctrica, etc.
- Zonas rurales: Transformadores pequeños, de fácil instalación, de baja pérdida y alta eficiencia energética.

Estos elementos hacen necesario un diseño flexible y modular, que permita adaptarse a diversos requerimientos técnicos de clientes públicos y privados.

Los transformadores a producir son considerados bienes de capital con larga vida útil, cuyo ciclo de vida promedio oscila entre 25 y 35 años, dependiendo de las condiciones operativas, mantenimiento y calidad de los materiales empleados.

El diseño se enfocará en minimizar las pérdidas de energía (pérdidas en vacío y carga) y en facilitar el mantenimiento predictivo, lo cual extiende la vida útil y mejora la rentabilidad para el cliente final.

Todos los transformadores producidos cumplirán con normativas nacionales y estándares internacionales que aseguran su desempeño y seguridad. Entre las normas aplicables se encuentran:

- RETIE – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (Colombia) (Ministerio de Minas y Energía, 2024).
- IEC 60076 – Normas internacionales para transformadores de potencia y distribución (IEC 60076, 2011).
- IEEE C57 – Normas norteamericanas para diseño y pruebas de transformadores (IEEE, 2015).
- NTC 1329 – Normas Técnicas Colombianas específicas para transformadores.

El cumplimiento de estas normativas es un requisito indispensable para la comercialización nacional y para participar en licitaciones del sector público y privado.

Los principales sustitutos identificados son los transformadores de fabricación extranjera, en particular los importados desde China, Brasil, México e India, los cuales son frecuentemente percibidos como más económicos, aunque en muchos casos presentan deficiencias en cuanto a plazos de entrega, servicio postventa y cumplimiento normativo.

La estrategia de diferenciación del proyecto se fundamenta en ofrecer productos personalizados, con calidad certificada, menor tiempo de entrega, soporte técnico local y cumplimiento estricto del RETIE.

La fabricación y comercialización de transformadores requiere la interacción con productos complementarios como:

- Celdas de media tensión.
- Reconectores automáticos.
- Tableros de control y medición.
- Bancos de condensadores.
- Sistemas de monitoreo en línea.

El proyecto contempla alianzas estratégicas con proveedores de estos equipos para ofrecer soluciones integrales, lo que representa una ventaja competitiva frente a competidores que solo ofertan productos unitarios.

### **9.3. MERCADO DE LAS MATERIAS PRIMAS**

Para la fabricación de transformadores eléctricos, las materias primas principales incluyen:

- Núcleo magnético (generalmente de láminas de acero al silicio o amorfo).
- Alambres de cobre o aluminio para los devanados.
- Aislantes sólidos (papel Kraft, Nomex, etc.).
- Aceite dieléctrico mineral o vegetal.
- Tanques metálicos (fabricados en acero al carbono o inoxidable).
- Accesorios eléctricos (bujes, conectores, interruptores de presión, válvulas, termómetros, etc.).

La calidad de estos insumos debe cumplir con normas técnicas nacionales e internacionales, tales como:

- NTC 1329 (ICONTEC).
- IEC 60296 (para aceite dieléctrico).
- IEEE C57.12 (normas de construcción y materiales).

Estos materiales son críticos para la eficiencia, durabilidad y seguridad del transformador.

Colombia no produce internamente varios de los insumos esenciales para transformadores, por lo que la industria depende fuertemente de la importación, como es el caso de:

- Cobre: Importado principalmente de Perú, Chile o China.
- Aceite dieléctrico: Importado en su mayoría de EE.UU., Alemania, India.
- Núcleos amorfos y láminas de acero al silicio: Procedentes de Japón, China o Corea del Sur.

Las zonas logísticas claves para la recepción y distribución de materias primas importadas incluyen los puertos de Cartagena y Buenaventura, además del futuro Puerto Antioquia, próximo a entrar en operación, también en zonas francas industriales en Cundinamarca, Antioquia y Valle del Cauca.

#### Volúmenes, precios, comercialización e inventarios

Precios internacionales:

- Cobre: USD \$8.000–\$9.500 por tonelada (London Metal Exchange, 2023).
- Aceite mineral dieléctrico: USD \$1.200–\$1.500 por tonelada.
- Acero al silicio: USD \$1.200–\$1.700 por tonelada.

Tendencias: Alta volatilidad debido a las condiciones macroeconómicas y geopolíticas, particularmente por la transición energética y tensiones logísticas globales.

Comercialización: Realizada a través de distribuidores industriales, brokers internacionales o mediante compras directas a fabricantes.

Gestión de inventarios: Las empresas de transformadores adoptan estrategias de mínimo inventario combinadas con contratos marco a largo plazo con proveedores estratégicos.

#### Estacionalidad, transporte, conservación y almacenamiento

Estacionalidad: Baja; la demanda de insumos no depende de ciclos agrícolas ni climáticos.

Transporte: Generalmente marítimo, seguido de transporte terrestre hasta la fábrica.

Almacenamiento: Los aceites requieren condiciones especiales: tanques de acero inoxidable, temperatura controlada y protección contra humedad. Bobinas de alambre y láminas deben almacenarse en áreas secas y ventiladas para evitar oxidación.

#### Normas y controles

Existen controles regulatorios relacionados con:

- Materiales eléctricos según RETIE (Ministerio de Minas y Energía, 2024).
- Sustancias peligrosas (aceites y dieléctricos) reguladas por el Ministerio de Ambiente y la ANLA.
- Normas internacionales como IEC, IEEE, ASTM para materiales certificados.

La adquisición de materias primas de alto desempeño (por ejemplo, núcleos amorfos, papeles aislantes sintéticos, aceites vegetales biodegradables) está alineada con tecnologías de fabricación de transformadores ecoeficientes, exigidas en el marco de la transición energética global.

Los proveedores internacionales suelen ofrecer líneas de crédito comerciales (30 a 90 días), o se gestionan importaciones con respaldo financiero de bancos de fomento al comercio exterior o leasing operativo para adquisición de maquinaria especializada.

#### Situación actual y futura

- Actual: Alta dependencia del comercio internacional, con riesgos cambiarios y logísticos.
- Futuro: Se proyecta una mayor sofisticación en los insumos, impulsada por regulaciones ambientales, eficiencia energética y digitalización de equipos.

#### **9.4. DEMANDA**

La demanda de transformadores eléctricos en Colombia está influenciada por diversos factores estructurales y coyunturales, entre los cuales destacan:

- Crecimiento de la demanda energética nacional.
- Expansión de proyectos de energías renovables no convencionales.
- Modernización de redes urbanas y subestaciones.
- Electrificación rural impulsada por programas del Gobierno Nacional.
- Reemplazo de activos antiguos del sistema eléctrico.
- Aumento del consumo residencial, comercial e industrial.

A nivel macroeconómico, el crecimiento sostenido del PIB, la inversión en infraestructura eléctrica y las políticas de descarbonización están contribuyendo a una demanda creciente de transformadores, tanto de distribución como de potencia.

La encuesta aplicada a 37 profesionales del sector eléctrico reveló que los principales consumidores de transformadores son:

- Empresas constructoras de subestaciones eléctricas.
- Comercializadores e importadores de equipos eléctricos.
- Empresas de servicios públicos (transmisión y distribución).
- Proyectos industriales con alta demanda energética.
- Proyectos de energía solar fotovoltaica y parques eólicos.

Características del consumidor:

- Alta exigencia técnica y cumplimiento normativo (RETIE, IEC, IEEE).
- Valoración de calidad, tiempo de entrega y servicio postventa.
- Interés creciente en soluciones personalizadas.
- Mayor disposición a pagar por productos con mejor desempeño energético y durabilidad.

Forma de pago: Contratos a término fijo o licitaciones, pagos fraccionados, anticipos.

La principal demanda se presenta actualmente en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca, Atlántico, Santander y zonas de proyectos solares (Guajira, Cesar, Huila).

Segmentación por nicho tecnológico:

- Transformadores convencionales de distribución (10–630 kVA).
- Transformadores tipo pedestal, sumergibles y secos.
- Transformadores de potencia.
- Soluciones específicas para renovables, minería, petróleo y movilidad eléctrica.

### Mercado objetivo del proyecto:

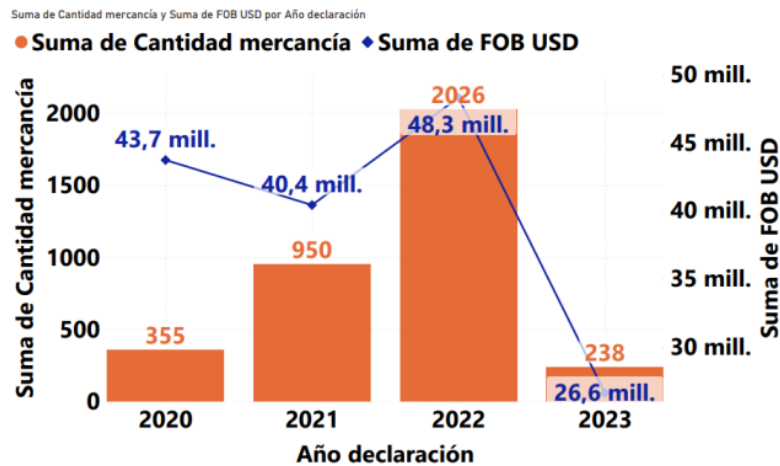
- Empresas EPC de subestaciones eléctricas.
- Compañías del sector energético y minero.
- Comercializadores y distribuidores de equipos eléctricos.
- Proyectos solares y rurales.

### Comportamiento histórico y volúmenes

Según datos del DANE y CIDET:

- La demanda nacional de transformadores ha crecido a una tasa promedio de 5% anual en la última década.
- En 2023 se comercializaron en Colombia alrededor de 8.300 transformadores.
- El 75% de las unidades corresponde a transformadores de distribución, el 20% a transformadores secos y el 5% a equipos de potencia.
- La competitividad del sector se ve reflejada en el crecimiento de las exportaciones del 55% entre 2020 y 2022 (CIDET, 2024) y en la presencia de fabricantes nacionales como Magnetron, que exporta más del 65% de su producción a más de 30 países (PROCOLOMBIA, 2023).

Figura 6. Exportaciones de Transformadores



Fuente: tomada de (CIDET, 2024).

### Distribución geográfica del mercado

Mercado nacional:

- Concentrado en regiones de alta densidad poblacional y presencia industrial.
- La costa atlántica y los Llanos Orientales presentan crecimiento emergente por nuevos proyectos energéticos.

Mercado internacional:

- Empresas como Magnetron exportan a más de 30 países.
- Se identifican oportunidades en Centroamérica, el Caribe, Perú, Ecuador y Bolivia.

### Tasa de consumo y ritmo de crecimiento

- Tasa actual de consumo estimada: 0,65 transformadores por cada 1000 habitantes.
- Ritmo de crecimiento esperado: entre 4% y 6% anual, especialmente en transformadores secos y soluciones para renovables.

### Proyección de la demanda (2025–2030)

Basado en la encuesta, análisis de tendencias y revisión documental, se proyecta una demanda creciente impulsada por:

- Renovación de infraestructura eléctrica obsoleta.
- Expansión de generación renovable (CREG, XM).
- Programas de cobertura eléctrica rural.
- En el plano regional, se estima que el mercado latinoamericano de transformadores alcanzará los USD 3 mil millones en 2024, con una tasa de crecimiento superior al 3,5% anual (Mordor Intelligence, 2024). Esta dinámica responde a la transición energética y a los proyectos de interconexión, como la futura conexión Colombia–Panamá, que demandarán equipos de alto desempeño.

Figura 7. Tamaño del Mercado de Transformadores en América Latina



Fuente: tomada de (Mordor Intelligence, 2024).

### Demanda potencial (estimada):

Considerando que en Colombia para el año 2023 se comercializaron 8.300 transformadores y que se tiene una tasa de crecimiento de alrededor del 5%, la proyección de la demanda se realiza utilizando un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), que involucra los datos anteriores y los datos extraídos de las encuestas sobre la intención de compra y frecuencia.

Se presenta entonces una demanda estimada para transformadores fabricados nacionalmente (en unidades).

Tabla 4. Estimación de Crecimiento Anual de Ventas

<b>Año</b>	<b>Transformadores estimados</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
2025	9.130	5%
2026	9.586	5%
2027	10.065	5%
2028	10.568	5%
2029	11.096	5%
2030	11.651	5%

Estas cifras representan una demanda potencial nacional. Se estima que para la nueva fábrica se podrá capturar un 3% del mercado en sus primeros 5 años de operación, dependiendo de su estrategia de comercialización y capacidad instalada. Es decir que para el primer año se iniciará con una capacidad aproximada de producción de 276 transformadores al año, que equivale a una línea de producción mensual de 23 unidades incluyendo todos los tipos.

### **9.5. OFERTA**

El mercado colombiano de transformadores presenta una estructura de competencia de tipo oligopólica diferenciada, dominada por un grupo reducido de empresas nacionales e internacionales que concentran la mayor parte de la producción y comercialización, especialmente en transformadores de distribución. A pesar de esta concentración, existen múltiples actores de tamaño medio y pequeño que ofrecen soluciones para nichos específicos, como transformadores secos o tipo pedestal.

Según la encuesta, el 62% manifiesta que los tiempos de entrega prolongados constituyen una debilidad recurrente de los actuales oferentes.

Las principales empresas fabricantes nacionales son:

- Magnetron (Pereira): Con más de 50 años en el mercado, exporta el 65% de su producción y compite en calidad y costo a nivel internacional (PROCOLOMBIA, 2023).
- Tesla Transformadores (Medellín): Especializados en soluciones para energías renovables, movilidad eléctrica y proyectos a medida.

- Polilux (Bogotá): Fábrica de transformadores encapsulados y especiales, con enfoque en minería y petróleo.
- ISA / Intercolombia: A través de su división de mantenimiento y activos, participa en adquisiciones recurrentes.

#### Producción extranjera:

- Empresas internacionales como Hitachi Energy, ABB, Siemens Energy y WEG importan transformadores desde sus plantas en Brasil, México, China y Estados Unidos.
- Hitachi Energy Colombia anunció recientemente la ampliación de su planta en Dosquebradas (Forbes Colombia, 2025), reforzando la capacidad local con enfoque regional.

#### Empresas competidoras: Perfil y características

Tabla 5. Empresas Competidoras

<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tipo de transformadores</b>	<b>Capacidad instalada</b>	<b>Estrategia diferencial</b>
Magnetron	Pereira	Potencia, distribución, secos	Alta	Exportación, certificaciones, soluciones a medida
Tesla Transformadores	Medellín	Distribución, solares, secos	Media	Innovación, energías limpias
Polilux	Bogotá	Encapsulados, minería, petróleo	Media	Especialización sectorial
Hitachi Energy	Risaralda	Potencia (hasta 230 kV)	Alta	Tecnología global, cobertura regional
ABB / Siemens / WEG	Importados	Diversos	Variabale	Precios competitivos, tiempos extensos

La industria nacional participa aproximadamente en el 55% del mercado local de transformadores de distribución, mientras que los transformadores de potencia aún son ampliamente dominados por multinacionales.

Según (CIDET, 2024), en el período 2020–2022, las exportaciones nacionales crecieron un 55%, lo que evidencia una competitividad creciente.

#### Reacción ante una nueva empresa en el mercado

Según la entrevista al experto Edward Castillo: “El ingreso de una nueva fábrica bien estructurada, con foco en calidad, tiempos de entrega más ajustados y atención al cliente posventa, podría captar rápidamente cuota de mercado, especialmente en proyectos solares, zonas rurales y comercializadores medianos que requieren flexibilidad y cercanía operativa.”

Este testimonio fue respaldado por los datos de la encuesta: El 81% de los encuestados considera viable y necesaria la entrada de nuevos fabricantes nacionales, sobre todo si ofrecen diferenciación tecnológica o mejores tiempos de entrega.

Proyección y crecimiento esperado de la oferta

La oferta nacional crecerá en la medida en que aumente la demanda de proyectos energéticos y electrificación rural. Las inversiones extranjeras como la de Hitachi Energy en Risaralda aportarán volumen, pero probablemente no atenderán nichos con la flexibilidad que podría ofrecer una nueva planta local.

Se proyecta que para el 2030, si se consolidan nuevos actores, el 70% de los transformadores de distribución requeridos en Colombia podrían ser producidos localmente.

**9.6. PRECIO**

El precio de un transformador eléctrico varía significativamente según su tipo (potencia o distribución), capacidad nominal (kVA), nivel de tensión, tipo de aislamiento (aceite, seco encapsulado), certificaciones y personalización del diseño. Los componentes principales que inciden en el precio final son:

- Costo de materias primas: Acero magnético, cobre/aluminio, aceite dieléctrico, resinas, etc.
- Mano de obra calificada.
- Gastos de diseño e ingeniería.
- Costos indirectos de fabricación.
- Certificaciones técnicas (RETIE, IEC, UL).
- Margen del fabricante y del distribuidor.
- Fletes e impuestos (cuando hay importación).

Estos factores determinan una alta variabilidad en precios que obliga a segmentar por producto y aplicación.

Análisis histórico y actual de precios

El análisis de mercado ((CIDET, 2024); entrevista y encuestas) revela lo siguiente:

Tabla 6. Rango de Precios Estimados

Tipo de transformador	Rango de precio estimado (USD/kVA)	Observaciones clave
Distribución tipo pedestal (13,2 kV)	50 – 90 USD/kVA	Segmento más competitivo; alta producción local
Seco encapsulado (<1.000 kVA)	80 – 130 USD/kVA	Alta demanda en minería y sector terciario

<b>Tipo de transformador</b>	<b>Rango de precio estimado (USD/kVA)</b>	<b>Observaciones clave</b>
Potencia ( $\geq 10$ MVA, $\geq 115$ kV)	100 – 180 USD/kVA	Alta dependencia de proveedores internacionales
Especiales para renovables	90 – 150 USD/kVA	Personalización + exigencias técnicas específicas

Se ha observado un incremento de precios del 12% al 18% en los últimos 3 años, explicado por:

- Aumento en precios de cobre y acero (London Metal Exchange, 2023).
- Disrupciones logísticas pospandemia.
- Apreciación del dólar frente al peso colombiano.

Las empresas nacionales tienden a fijar precios en función de:

- Costos internos (cost-plus) con margen variable (15%–30%).
- Análisis de competencia (benchmark regional).
- Valor percibido por el cliente, especialmente en soluciones a medida.

En la entrevista con el gerente comercial de Tesla, Edward Castillo (comunicación personal, 9 de septiembre de 2025) nos indica que:

“Las ventas a clientes públicos (licitaciones) se fijan con márgenes bajos por volumen; pero en clientes privados o industriales se prioriza la personalización y el valor agregado técnico como factor de diferenciación, permitiendo márgenes más amplios”.

#### Métodos para determinar el precio

Entre los métodos más comunes se destacan:

- Costeo completo + margen deseado (80% de los casos).
- Precio de mercado / benchmarking.
- Análisis de retorno del proyecto para grandes clientes (TIR, VPN).

El método más viable para la nueva fábrica es una estrategia de penetración de mercado con precios competitivos, inicialmente con márgenes reducidos para capturar participación, combinada con diferenciación técnica y calidad.

Para clientes públicos (por ejemplo, las electrificadoras), la demanda es relativamente inelástica frente al precio, dado que se rige por presupuestos y pliegos técnicos.

Para clientes privados (constructoras, industrias, renovables), la elasticidad es moderada: si el proveedor ofrece entregas más rápidas y soporte técnico, están dispuestos a pagar más (ver resultados de la encuesta: el 76% estaría dispuesto a cambiar de proveedor por mejor servicio postventa o entrega).

## 9.7. COMERCIALIZACIÓN

El mercado de transformadores eléctricos en Colombia opera principalmente mediante dos canales de distribución:

1. Ventas directas del fabricante al cliente final: Este canal es predominante en proyectos de infraestructura eléctrica, empresas constructoras, industria pesada, electrificadoras y desarrolladores de energías renovables. Permite un mayor control sobre los requerimientos técnicos, cronogramas de entrega, soporte postventa y precios.
2. Distribuidores y representantes comerciales: En algunos casos, los fabricantes utilizan canales indirectos a través de distribuidores especializados en materiales eléctricos. Estos actores intermedian la venta, especialmente para transformadores de baja potencia o líneas estándar.

Para la nueva fábrica de transformadores propuesta, es recomendable optar por una estrategia mixta que combine ventas directas a clientes estratégicos (electrificadoras, industria, energías renovables) con una red de distribuidores regionales que permita cubrir zonas apartadas y proyectos de menor escala, optimizando cobertura territorial y logística.

Los márgenes de comercialización varían según el canal:

- Ventas directas: Margen del 20%–30% sobre costos totales.
- Distribuidores: Los márgenes se reducen entre 12% y 20%, debido al descuento aplicado al distribuidor para que este lo revenda con utilidad propia.

La encuesta revela que el 65% de los compradores están dispuestos a trabajar directamente con el fabricante, siempre que se ofrezcan tiempos de entrega confiables y soporte técnico eficiente.

### Condiciones de venta y sistemas de crédito

En el mercado colombiano se observan las siguientes prácticas comunes:

- Condiciones estándar: 50% anticipo y 50% contra entrega.
- Créditos comerciales: En algunos casos, se otorgan plazos de 30 a 60 días para clientes recurrentes.
- Licitaciones públicas: Suelen requerir cumplimiento de pliegos específicos, pólizas de cumplimiento y precios fijos.

Para el proyecto propuesto, se sugiere implementar políticas flexibles de crédito comercial para fidelizar clientes estratégicos, siempre respaldadas con análisis de riesgo crediticio.

En cuanto al sistema de publicidad y promoción, el sector de transformadores no se apoya en publicidad masiva. Las estrategias de promoción más efectivas identificadas son:

- Participación en ferias técnicas y eventos del sector (Por ejemplo, FISE, ANDESCO, Expoingeniería).
- Alianzas con universidades y centros de formación técnica para fortalecer la marca empleadora y posicionamiento técnico.
- Marketing técnico digital: Posicionamiento SEO (Search Engine Optimization), webinars, fichas técnicas descargables, casos de éxito.

El experto técnico entrevistado recomienda fortalecer la presencia técnica en medios especializados y generar confianza mediante certificaciones, visitas a fábrica y referencias de proyectos.

#### Formas de almacenaje y transporte

Los transformadores, especialmente los de gran capacidad, requieren transporte especializado (planchones, grúas) y condiciones adecuadas de almacenaje:

- Transformadores de distribución: Permiten almacenaje en bodega bajo techo, con control de humedad.
- Transformadores de potencia: Requieren entrega directa al sitio por su peso, dimensiones y valor.

La encuesta evidenció que uno de los factores críticos para la decisión de compra es la disponibilidad inmediata: el 59% de los encuestados podrían estar dispuestos a pagar un sobre costo por entregas rápidas o existencia en inventario.

Un elemento altamente valorado por los clientes es el soporte postventa. Según la encuesta aplicada:

- El 73% considera que el soporte técnico postventa es determinante para repetir compra.
- El 68% ha tenido experiencias negativas con demoras en repuestos o soporte técnico.

Por lo tanto, la nueva fábrica debe incluir un área de servicio técnico con cobertura nacional, para instalación, puesta en marcha, mantenimiento y suministro de repuestos, generando así valor agregado y fidelización.

## **10. ESTUDIO TÉCNICO**

El estudio técnico tiene como propósito evaluar los aspectos clave relacionados con el tamaño óptimo de producción, la localización más adecuada, el proceso de fabricación, los requerimientos de maquinaria y equipos, así como la infraestructura física y los recursos necesarios para la puesta en marcha y operación eficiente de la fábrica.

### **10.1. ANÁLISIS DEL TAMAÑO O CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**

La determinación del tamaño óptimo de la fábrica constituye un aspecto estratégico fundamental en la etapa de formulación del proyecto, ya que condiciona las decisiones de inversión, tecnología, organización operativa y logística. Este análisis se fundamenta en el comportamiento del mercado, la disponibilidad de insumos, la capacidad financiera proyectada, así como la posibilidad de escalabilidad y expansión futura.

#### Tamaño del mercado actual y futuro

Con base en los hallazgos del Estudio de Mercado, se identificó una demanda constante y en crecimiento de transformadores eléctricos de distribución y potencia en Colombia, especialmente impulsada por proyectos de expansión en los sectores de energía renovable, minería e infraestructura eléctrica nacional. La encuesta aplicada a profesionales del sector eléctrico reveló que el 91,9% de los actores estarían dispuestos a adquirir transformadores de un nuevo fabricante nacional, validando la existencia de un mercado receptivo.

A partir de la información recolectada, se estima una demanda potencial de aproximadamente 276 transformadores por año en los segmentos objetivo (empresas contratistas, diseñadores de subestaciones, distribuidores de equipos y compañías de servicios energéticos), con una tasa de crecimiento proyectada del 3% anual en el horizonte del proyecto.

#### Distribución geográfica de la demanda

La demanda identificada se concentra principalmente en las regiones con alta densidad industrial y desarrollo de infraestructura eléctrica, como Antioquia, Valle del Cauca, Atlántico, Cundinamarca y Santander. Esta dispersión geográfica requiere un diseño logístico eficiente y capacidad de respuesta regional, lo cual se tendrá en cuenta en la fase de localización y distribución.

#### Disponibilidad de materias primas e insumos

El análisis técnico evidencia que las materias primas críticas, como el acero al silicio, el cobre, el aluminio, el aceite dieléctrico y los materiales aislantes, son en su mayoría importados. No obstante, existen proveedores consolidados en el país que facilitan su adquisición, distribución y almacenamiento, especialmente en zonas con acceso portuario. La disponibilidad estable de estos insumos permite proyectar un flujo continuo de producción, sujeto a una adecuada planificación de compras e inventarios.

### Tecnología del proceso productivo

El proceso de fabricación de transformadores contempla un nivel medio-alto de automatización, especialmente en áreas como el corte de núcleos, bobinado, impregnación y pruebas. La capacidad instalada dependerá del tipo de maquinaria seleccionada, la disposición de líneas paralelas de producción y los tiempos de ciclo por unidad. Según benchmarks del sector, una línea de producción puede alcanzar una capacidad inicial de 120 a 180 transformadores por año, dependiendo de las configuraciones técnicas y de la estandarización de diseños.

### Capacidad financiera

El tamaño proyectado de la planta considera la capacidad financiera disponible para la etapa de inversión inicial y la posibilidad de acceder a líneas de crédito de fomento industrial. La escalabilidad modular del proyecto permite iniciar con una línea de producción semiautomatizada y avanzar hacia la integración de nuevas líneas conforme aumente la demanda y la recuperación de la inversión.

### Adaptabilidad a la instalación por etapas

La estrategia adoptada contempla una instalación por etapas, lo cual permite ajustar progresivamente la capacidad productiva a la dinámica del mercado. En una primera fase, la fábrica atenderá nichos específicos del mercado nacional (transformadores monofásicos y trifásicos de distribución hasta 5 MVA), y en fases posteriores podrá expandirse a productos de mayor potencia y a mercados internacionales.

### Alternativas de varias plantas para cubrir el mercado

Aunque la localización inicial se definirá en una única región estratégica, se proyecta la posibilidad de establecer centros de ensamblaje o distribución regional para disminuir los costos logísticos y ampliar la cobertura nacional. Esta alternativa se evaluará una vez que se consolide la operación inicial y se validen los volúmenes reales de demanda por región.

## **10.2. ANÁLISIS DE LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA**

### Macro localización (ubicación)

Medellín se posiciona como una ubicación estratégica para el establecimiento de una fábrica de transformadores debido a su ecosistema industrial consolidado, su capacidad técnica y su creciente conectividad logística. La ciudad alberga importantes actores del sector energético, como Empresas Públicas de Medellín (EPM), lo que representa una ventaja directa como cliente potencial y proveedor de

servicios. El desarrollo de Puerto Antioquia en Urabá, junto con autopistas 4G, mejora sustancialmente el acceso al Mar Caribe, reduciendo significativamente los tiempos y costos logísticos para la exportación e importación de productos e insumos.

Debemos tener en cuenta que la fábrica requiere de puertos cercanos para la exportación futura de equipos, así como para la importación de materias primas, como se observa en la tabla a continuación, la distancia a los dos principales puertos de uso como Puerto Antioquia y Buenaventura es estratégica, siendo útil para importaciones tanto de Europa y América como de Asia.

Distancias a los Principales Puertos (Terrestre Aproximada):

Tabla 7. Distancia a Puertos desde Medellín

<b>Puerto</b>	<b>Ubicación Geográfica</b>	<b>Distancia Terrestre (aprox.)</b>
Puerto Antioquia (Turbo)	Costa Caribe	~350 km
Buenaventura	Costa Pacífica	~480 km
Cartagena	Costa Caribe	~650 km
Barranquilla	Costa Caribe	~700 km

#### Proximidad y disponibilidad del mercado

El acceso y disponibilidad del mercado son una de las mayores fortalezas de Medellín para una fábrica de transformadores, ya que ofrece una proximidad estratégica dual. En el plano nacional, la fábrica se beneficia enormemente de estar en la misma región que EPM (Empresas Públicas de Medellín), el gigante energético del país, lo que garantiza una demanda cautiva constante y facilita la respuesta rápida a los grandes proyectos de infraestructura y mantenimiento de la red. Además, su ubicación central en la principal región industrial colombiana permite una distribución terrestre eficiente a otras ciudades clave a través de la red vial optimizada. Para el mercado de exportación, la proximidad del nuevo Puerto Antioquia en Urabá es un factor decisivo; esta conexión, con apenas ~350 km de distancia posiciona a Medellín con la logística más competitiva del interior del país hacia el Mar Caribe, abriendo la puerta a los mercados de alto crecimiento como Centroamérica, el Caribe y Estados Unidos, donde las exportaciones de transformadores colombianos ya están registrando un crecimiento explosivo.

La ubicación de Medellín le permite atender tanto la demanda local (EPM) como las principales ciudades y puertos del país, como lo indica la tabla siguiente:

Tabla 8. Distancias a Centros de Consumos

<b>Destino</b>	<b>Tipo de Mercado</b>	<b>Distancia Terrestre (aprox.)</b>
Bogotá	Mayor centro de consumo y negocios	~420 km
Cali	Centro industrial de suroccidente	~410 km

Destino	Tipo de Mercado	Distancia Terrestre (aprox.)
Bucaramanga	Centro industrial del oriente	~390 km
Pereira	Ciudad principal del Eje Cafetero	~210 km
Barranquilla	Centro industrial del norte	~750 km

#### Proximidad y disponibilidad de materias primas

La proximidad y disponibilidad de materias primas para una fábrica de transformadores en Medellín son un aspecto estratégico que balancea la dependencia global con la fortaleza industrial local. En esencia, los insumos más críticos y costosos, como el acero magnético, el cobre/aluminio de alta pureza para devanados y los aislantes especializados y aceites dieléctricos, deben ser importados de cadenas de suministro internacionales provenientes de China, Europa y EE. UU., lo cual es habitual en el sector a nivel mundial. No obstante, esta dependencia se compensa con la consolidada y robusta base industrial del Valle de Aburrá, que asegura la disponibilidad inmediata de componentes secundarios, servicios especializados de manufactura como soldadura y tratamiento de metales, y la rápida consecución de piezas metálicas fabricadas a medida, gabinetes y herrajes. Adicionalmente, la ciudad se beneficia de su capacidad de investigación local, explorando alternativas sostenibles como los aceites dieléctricos de origen vegetal. Crucialmente, la logística de importación se resuelve con eficiencia, ya que las nuevas Autopistas 4G garantizan un flujo rápido y económico de estos insumos críticos desde el Puerto Antioquia en el Caribe, mitigando la desventaja de ser una ciudad interior.

#### Costo de transporte de insumos y productos

El costo de transporte de insumos y productos en Medellín se transforma en una ventaja competitiva estratégica, al aprovechar su posición intermedia y equidistante entre las costas. Esta ubicación geográfica, relativamente central, permite optimizar el movimiento de carga pesada tanto hacia los puertos del Caribe (principalmente el nuevo Puerto Antioquia), como hacia el Pacífico (Buenaventura). Al tener distancias terrestres menores y más equilibradas hacia ambos litorales en comparación con otras ciudades del interior del país, los costos de los fletes por tonelada decrecen proporcionalmente. Este factor es crucial para la rentabilidad de una fábrica de transformadores, ya que impacta doblemente: reduce los gastos de recepción de materias primas importadas (al poder elegir el puerto de entrada más económico) y disminuye los costos de envío de los productos terminados a mercados internacionales a través del puerto más conveniente. Adicionalmente, la mejora de las Autopistas 4G potencia esta eficiencia, asegurando que el transporte terrestre interno y hacia las costas sea rápido y costo-efectivo.

#### Mano de obra

La mano de obra en Medellín y el Valle de Aburrá es una ventaja competitiva esencial para una fábrica, fundamentada en una arraigada cultura de tradición industrial que asegura un personal familiarizado con procesos de manufactura

compleja. Esta base se complementa con una robusta oferta académica y técnica proveniente de instituciones líderes como el SENA y diversas universidades de ingeniería, que capacitan activamente profesionales y técnicos en áreas cruciales como ingeniería eléctrica, electromecánica, bobinado y automatización industrial, reduciendo drásticamente los costos y tiempos de reclutamiento y formación inicial. Además, la existencia de fabricantes de equipos eléctricos en la zona garantiza una reserva de trabajadores con experiencia directa en el producto, mientras que la vocación de la ciudad como Distrito de Ciencia, Tecnología e Innovación asegura un flujo constante de talento joven orientado a la Industria 4.0 (Concepto que describe la tendencia actual hacia la automatización total y el intercambio de datos en las tecnologías de fabricación), lo que facilita la implementación de tecnologías avanzadas y el desarrollo de transformadores inteligentes.

#### Sistemas de transporte y vías de acceso

El sistema de transporte y las vías de acceso de Medellín constituyen una ventaja logística fundamental para la fabricación de transformadores, ya que logran neutralizar su posición interior mediante una infraestructura vial en constante modernización. La ciudad funciona como un eje central de distribución conectado por una robusta red de Autopistas 4G que asegura el flujo seguro y eficiente del tráfico pesado y la carga extra dimensionada. Esta red es crucial para la distribución nacional hacia los grandes centros de consumo, y más importantemente, para las rutas de exportación: permite una flexibilidad estratégica al ofrecer distancias intermedias a los puertos del Pacífico (Buenaventura) y, sobre todo, al reducir dramáticamente el recorrido hacia el Mar Caribe a través de la nueva conexión con Puerto Antioquia en Urabá. Esta optimización vial no solo disminuye los tiempos de tránsito, sino que también minimiza los costos de fletes para la importación de insumos críticos y la exportación de productos terminados.

#### Infraestructura, servicios públicos y abastecimiento energético

La infraestructura, los servicios públicos y el abastecimiento energético de Medellín ofrecen una base operativa excepcionalmente sólida para una fábrica de transformadores, minimizando los riesgos y optimizando los costos. Esta fortaleza radica principalmente en Empresas Públicas de Medellín (EPM), que garantiza un suministro eléctrico de alta calidad y estabilidad para los procesos de fabricación de precisión, respaldado por un sistema energético con capacidad para las altas demandas de potencia a un costo que es históricamente uno de los más competitivos a nivel nacional. Además de la energía, EPM asegura servicios de agua potable confiables e infraestructura de tratamiento de aguas residuales y una red disponible de gas natural económico. A nivel físico, la región circundante al Valle de Aburrá dispone de parques industriales y logísticos establecidos, ofreciendo terrenos y bodegas con las especificaciones técnicas requeridas (altos techos y patios de maniobra) con acceso directo a las principales vías sin congestionar el centro urbano.

### Elementos climáticos

El análisis de los elementos climáticos en Medellín y el Valle de Aburrá es altamente beneficioso para una fábrica de transformadores, ofreciendo condiciones que son generalmente estables y operativamente óptimas. La ciudad goza de un clima templado y uniforme (la “Eterna Primavera”) a lo largo del año, lo que minimiza las fluctuaciones térmicas extremas que podrían estresar los componentes sensibles como aislantes y aceites durante el almacenamiento y el ensamblaje, traduciéndose en menores costos de inversión en sistemas de acondicionamiento climático sofisticados. Aunque la región tiene niveles de humedad, la estabilidad térmica facilita el estricto control ambiental requerido en los procesos críticos, como el secado al vacío del aislamiento. La principal consideración es la vulnerabilidad logística en periodos de lluvias, donde la topografía montañosa puede afectar ocasionalmente las vías de acceso a los puertos, aunque este riesgo está siendo mitigado constantemente con la modernización de las Autopistas 4G.

### Políticas gubernamentales y restricciones

Las políticas gubernamentales y restricciones en Medellín y Colombia, lejos de ser barreras, actúan como un marco regulatorio que impulsa la calidad, la seguridad y la demanda tecnológica en la industria de transformadores. La principal fortaleza regulatoria es el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), que establece estándares de seguridad estrictos y obliga a la certificación de conformidad de productos como los transformadores, garantizando un mercado que valora la calidad y minimiza la competencia desleal de productos de baja especificación. Adicionalmente, las políticas nacionales están fuertemente orientadas hacia la Transición Energética Justa, fomentando la inversión en la modernización de la red, la incorporación de Recursos Energéticos Distribuidos (DER) y el desarrollo de tecnologías de eficiencia energética, lo que genera una demanda creciente de transformadores inteligentes, más eficientes y aptos para microrredes. En cuanto a las restricciones, Medellín, como Distrito de CTI, impone requisitos ambientales y de sostenibilidad específicos (como la gestión de ruido, calidad del aire y manejo de residuos) que, aunque requieren inversión en cumplimiento, están alineados con las tendencias globales de fabricación sostenible (como el uso de aceites dieléctricos menos contaminantes). Por último, la existencia de regímenes tributarios como el Impuesto de Industria y Comercio (ICA) y el Régimen Simple de Tributación (SIMPLE) en el municipio define un claro marco fiscal para la operación industrial.

### Estímulos fiscales

Los estímulos fiscales en Medellín y Colombia ofrecen un marco de incentivos atractivo, particularmente para una fábrica de transformadores que se enfoque en la tecnología, la exportación y la eficiencia energética. A nivel nacional, la legislación premia la inversión en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel), permitiendo a las empresas descontar hasta el 30% del valor invertido en proyectos calificados (como el diseño de transformadores inteligentes) del impuesto de renta, además de otorgar un Crédito Fiscal del 50% sobre la inversión a MiPymes. Específicamente, Medellín,

como Distrito Especial de CTI, tiene la potestad de otorgar beneficios locales adicionales y graduales en impuestos como el de Industria y Comercio (ICA) e Impuesto Predial para empresas de base tecnológica que se instalen en la zona, y además, las empresas pueden acceder a las exenciones plenas del Régimen de Zonas Francas, que incluye una tarifa reducida de impuesto sobre la renta (hasta el 20%) y la exoneración de IVA y aranceles en la importación de maquinaria e insumos. Finalmente, el enfoque en la transición energética se traduce en beneficios tributarios específicos para el sector eléctrico, como la deducción en renta del 50% del valor de la inversión en proyectos de eficiencia energética y la exención de IVA y aranceles en la importación de equipos y componentes que contribuyan a la gestión eficiente de la energía.

Los datos sobre los incentivos provienen de la normativa y las entidades gubernamentales y de promoción económica colombianas:

Tabla 9. Estímulos Fiscales

<b>Tema del Incentivo</b>	<b>Base Legal y Fuente</b>
Inversión en CTel (30% Descuento y 50% Crédito Fiscal)	Leyes de reforma tributaria y lineamientos de Minciencias (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación).
Régimen de Zonas Francas	Estatuto Tributario y material informativo de la ACI Medellín (Agencia de Cooperación e Inversión) sobre los beneficios de renta y aduanas.
Incentivos Distritales (ICA, Predial)	Ley que dota a Medellín como Distrito Especial de CTI y acuerdos municipales del Concejo de Medellín sobre exenciones tributarias locales.
Beneficios de Eficiencia Energética / FNCE	Ley 1715 de 2014, Artículo 255 del Estatuto Tributario y documentos de la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) y el Ministerio de Ambiente.

#### Otros Factores: Calidad de Vida y Entorno Empresarial

Medellín complementa sus ventajas industriales con una alta calidad de vida y un entorno de servicios sofisticado que facilita la atracción y retención de talento ejecutivo y técnico, mitigando los costos no salariales de la inversión:

##### 1. Servicios de Educación y Talento

La ciudad ofrece una oferta educativa superior de alta calidad, con universidades e instituciones técnicas de prestigio (como la Universidad Nacional, EAFIT y el SENA), que garantizan un flujo constante de ingenieros, técnicos y profesionales especializados. Esta disponibilidad de talento es crucial para el crecimiento a largo plazo de la fábrica.

## 2. Servicios Financieros y Empresariales

Medellín es un centro financiero y de negocios consolidado. La presencia de las sedes principales o regionales de los mayores grupos empresariales y bancos de Colombia asegura la disponibilidad de capital, crédito, seguros y servicios de leasing para maquinaria, facilitando la inversión y la gestión del capital de trabajo. Además, hay una amplia gama de servicios de consultoría legal, contable y de comercio exterior.

## 3. Calidad de Vida y Recreación

La ciudad es reconocida por su clima templado y su rica oferta cultural. La disponibilidad de servicios de salud de alta complejidad (varios hospitales son referentes nacionales), diversas opciones de vivienda (desde desarrollos modernos hasta tradicionales) y una variada infraestructura de comercio, gastronomía y recreación hacen que Medellín sea un lugar atractivo para reubicar personal directivo y especializado. Este factor es clave para la retención de talento a largo plazo.

## 4. Seguridad y Gobernanza

Medellín ha demostrado una gobernanza estable enfocada en la colaboración público-privada, evidente en proyectos como Ruta N y el Distrito de CTI (Ciencia Tecnología e Innovación). Esto ofrece un entorno predecible y de apoyo a la inversión, mientras que las autoridades metropolitanas trabajan constantemente en mejorar la seguridad y la convivencia.

### **10.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN**

El proceso de fabricación de un transformador de potencia o distribución involucra un proceso altamente especializado que exige precisión técnica, control de calidad estricto y cumplimiento normativo. El proceso puede dividirse en cuatro etapas principales:

#### 1. Ingeniería y Preparación de Materiales

El proceso inicia con el diseño detallado del transformador, que debe ajustarse a las especificaciones exactas del cliente y cumplir con normativas como el RETIE. Esta fase incluye:

- **Diseño Térmico y Eléctrico:** Simulación para determinar las dimensiones óptimas del núcleo, los devanados y el sistema de enfriamiento.
- **Corte y Preparación del Núcleo:** Se recibe el acero magnético (GOES) importado y se corta con máquinas de alta precisión (corte step-lap o tipo V) para ensamblar el núcleo magnético del transformador con mínimas pérdidas.

- Preparación de Aislantes: Se cortan y ensamblan los papeles, cartones y prensados aislantes que se colocarán entre las capas de los devanados.

## 2. Fabricación de Devanados (Bobinado)

Esta es la fase de mayor precisión, donde se construye la parte conductora del transformador:

- Bobinado: Utilizando máquinas bobinadoras especializadas, se enrollan los conductores de cobre o aluminio (cintas o alambres) sobre un mandril para crear las bobinas de alta (AT) y baja tensión (BT).
- Aislamiento entre capas: Se intercala el material aislante preparado en la fase 1 entre las capas conductoras para prevenir cortocircuitos.

## 3. Secado, Ensamble y Vaciado

Una vez fabricados el núcleo y los devanados, se procede al montaje final dentro del tanque:

- Secado al Vacío (Fase Crítica): El conjunto de núcleo-bobinas se introduce en un horno industrial (autoclave) donde se somete a alto vacío y temperatura. Este proceso es crucial, ya que elimina hasta la última traza de humedad de los materiales aislantes, garantizando la rigidez dieléctrica.
- Ensamble Final: El conjunto seco se monta rápidamente dentro del tanque metálico (previamente fabricado en el área metalmecánica), y se instalan accesorios como cambiadores de tomas y boquillas.
- Vaciado de Aceite: Se realiza el llenado del tanque con el aceite dieléctrico (mineral o vegetal) bajo condiciones de vacío.

## 4. Pruebas y Despacho

La fase final confirma que el transformador cumple con los estándares de calidad:

- Pruebas Eléctricas: Se realizan pruebas rigurosas de rutina (p. ej., relación de transformación, resistencia de aislamiento, pérdidas, impedancia, rigidez dieléctrica del aceite) en laboratorios especializados.
- Pruebas Especiales: Opcionalmente, se realizan pruebas de impulso y de cortocircuito.
- Acabado y Despacho: Una vez certificado, el transformador se somete a pintura final y se prepara para el transporte y la exportación, aprovechando la logística optimizada de Medellín.

### Análisis de la tecnología a utilizar

La ingeniería de un proyecto de fábrica de transformadores requiere la adopción de tecnología de media a alta complejidad (automatización CNC, cámaras de vacío, laboratorios de alta tensión) para asegurar una calidad de producto que cumpla con el RETIE y los estándares internacionales, lo cual es vital para el sector eléctrico colombiano. Esta tecnología debe ser flexible para manejar tanto transformadores de distribución de alto volumen, como unidades de potencia personalizadas, optimizando el uso de materias primas costosas (GOES y conductores importados) mediante un flujo de producción Lean y eficiente. Aunque la inversión inicial es alta por el equipo de capital (autoclaves, bobinadoras), puede mitigarse con los estímulos fiscales de CTel disponibles en Medellín. Operacionalmente, la tecnología elegida debe garantizar una alta seguridad industrial frente al riesgo eléctrico y químico, ser energéticamente eficiente para reducir costos fijos y contar con soporte garantizado por el proveedor tecnológico debido a la dependencia de repuestos importados. Además, el diseño debe ser modular para facilitar futuras ampliaciones e integración de soluciones Industria 4.0, aprovechando el talento técnico local de Medellín.

Tabla 10. Tecnología a Utilizar

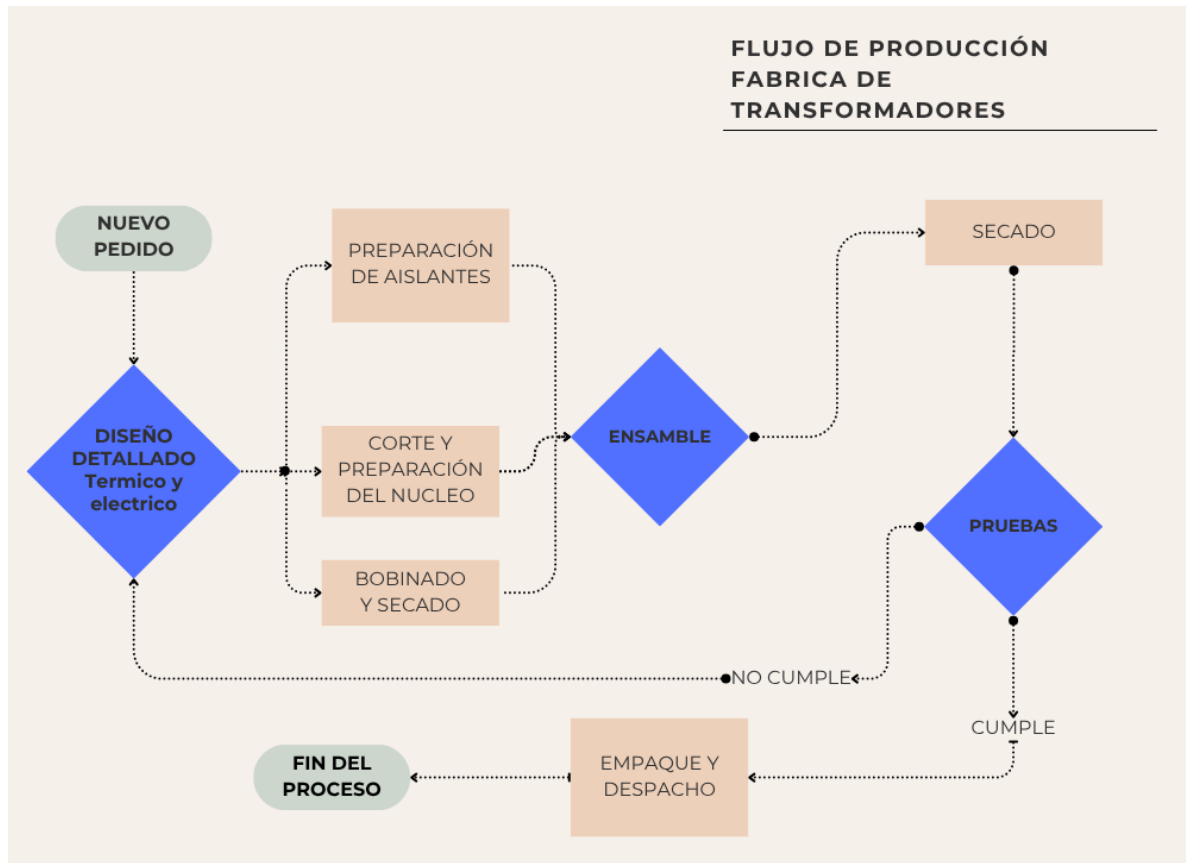
<b>Factor</b>	<b>Descripción y Requerimientos Clave</b>
Producción y Calidad	Se requiere automatización parcial o total (Lean Manufacturing). La calidad se asegura con tecnología de precisión (corte step-lap para GOES, bobinadoras automatizadas) y cámaras de secado al vacío (autoclaves) de última generación para la rigidez dieléctrica.
Materias Primas y Flexibilidad	La tecnología debe optimizar el uso de GOES y cobre/aluminio importados. La operación debe ser flexible para cambiar rápidamente entre transformadores secos y transformadores sumergidos.
Complejidad y Riesgos	La complejidad es de media a alta (sistemas CNC, alto vacío), justificada por la calidad dieléctrica. Los riesgos (eléctricos, químicos) se mitigan con tecnología de seguridad industrial avanzada y cumplimiento estricto del RETIE.
Insumo y Consumo de Energía	Necesidad de electricidad estable (EPM), gas natural y agua tratada. La tecnología debe priorizar la eficiencia energética para reducir costos operativos.
Parque Instalado y Asistencia	La nueva tecnología debe superar los estándares de la competencia local. La asistencia técnica para el hardware especializado debe ser garantizada por el proveedor extranjero, complementada por el talento técnico local de Medellín.
Inversión y Plazos	La inversión inicial es alta, mitigable con los incentivos fiscales de CTel. El plazo de entrega de equipos especializados es largo (12 – 24 meses).

Factor	Descripción y Requerimientos Clave
Mano de Obra y Obsolescencia	Demanda de personal técnico especializado e ingenieros (talento disponible en Medellín). La tecnología debe permitir actualizaciones de software sencillas para prevenir la obsolescencia.
Garantías y Desarrollo Futuro	Es vital negociar garantías de rendimiento (eficiencia) y la capacidad de realizar ensayos y prototipos. El diseño de la planta debe ser modular para futuras ampliaciones e integración de tecnologías Industria 4.0.

### Flujograma del proceso productivo

El flujograma del proceso productivo de un transformador de calidad se establece como una secuencia técnica rigurosa que comienza con la ingeniería de detalle para generar los planos de fabricación y gestionar el aprovisionamiento crítico de insumos importados como el acero GOES y los conductores de cobre/aluminio. Posteriormente, en la etapa de Fabricación de Componentes, se procede al corte de precisión del núcleo mediante tecnología CNC y al bobinado automatizado de los devanados de alta y baja tensión, asegurando el aislamiento adecuado. La Ruta Crítica del proceso es el Tratamiento Dieléctrico, donde el conjunto activo núcleo-bobinas se somete a un prolongado Secado al Vacío en autoclaves con monitoreo continuo, un paso indispensable para la eliminación total de la humedad y la garantía de la vida útil del transformador, seguido de un vaciado controlado con aceite dieléctrico bajo vacío dentro del tanque metálico. Finalmente, el transformador se somete a la etapa de Pruebas y Despacho, donde se realizan rigurosas pruebas de rutina y especiales (según el cliente) para obtener la certificación de conformidad (RETIE/NTC), concluyendo con el acabado, embalaje y la preparación logística para el envío, aprovechando la red de transporte optimizada de Medellín.

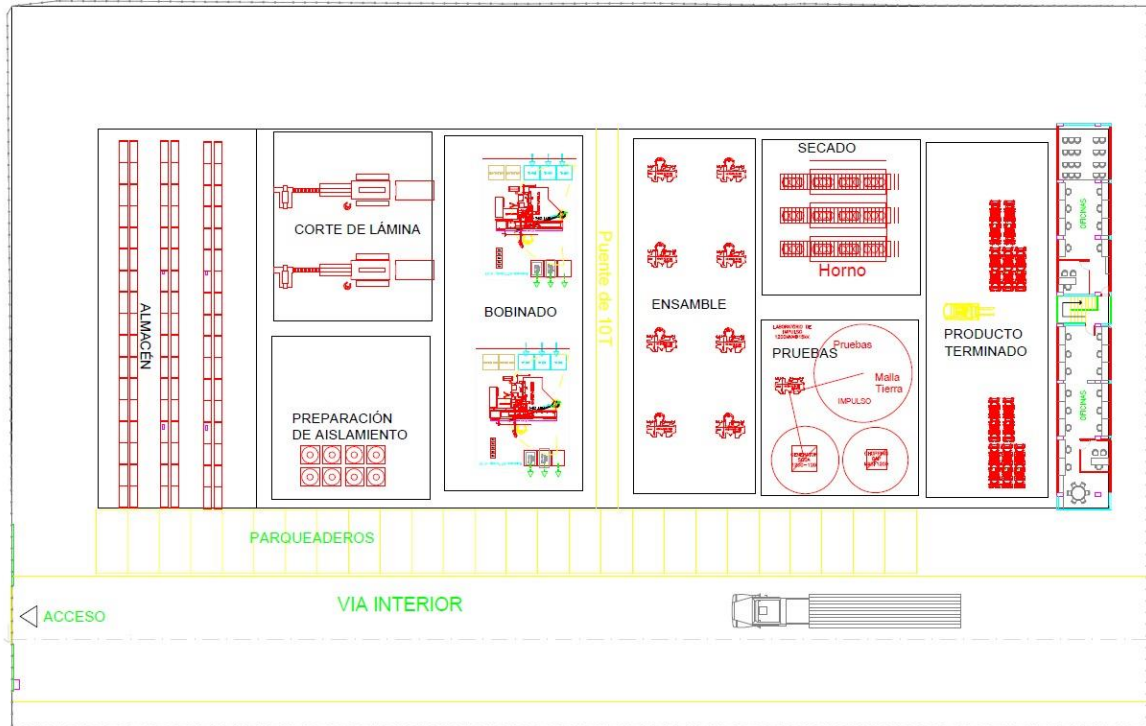
Figura 8. Flujograma Proceso Productivo de la Fábrica



### Distribución en planta

La distribución en planta de una fábrica de transformadores debe seguir un estricto flujo de producción lineal o en forma de "U" para maximizar la eficiencia y, crucialmente, para aislar las áreas sensibles de la contaminación. El diseño comienza con la Zona de Materias Primas y Metalmecánica, cerca de la recepción de carga pesada, donde se ubican la máquina de corte CNC del acero orientado y la sección de soldadura y fabricación de los tanques metálicos con sus grúas viajeras. A continuación, el flujo avanza a la Zona de Componentes Activos, donde se encuentran las bobinadoras automatizadas y se realiza el ensamble preliminar del núcleo. El corazón del layout es la Zona Dieléctrica, la cual está totalmente aislada y controlada contra la humedad, albergando los Autoclaves de Secado al Vacío; esta área debe tener una conexión directa con el Área Limpia de Vaciado de aceite dieléctrico. Finalmente, el proceso culmina en la Zona de Pruebas y Despacho, donde se realiza la certificación de calidad en el Laboratorio de Alta Tensión (una zona de acceso restringido y seguro) y se conecta directamente a los Patios de Maniobra amplios, necesarios para el embalaje y la carga de los transformadores en vehículos extra dimensionados para su distribución.

Figura 9. Planta de Distribución de la Fábrica



#### 10.4. MAQUINARIA Y EQUIPOS

La inversión en maquinaria y equipos para la fabricación de transformadores eléctricos se orienta hacia tecnologías de precisión que garantizan la calidad dieléctrica y electromagnética del producto final. Esta inversión es estratégica para cumplir con las normativas nacionales, especialmente el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), y asegurar la competitividad de la planta a nivel nacional e internacional.

Tabla 11. Descripción de la Maquinaria y Equipo Requerido

Categoría	Equipo Clave	Especificaciones y Capacidad	Mantenimiento y Eficiencia
I. Núcleo (GOES)	Máquina de Corte	CNC de alta precisión, tolerancias submilimétricas. Capacidad para GOES de 0,23 a 0,35 mm de espesor.	Mantenimiento: Predictivo y preventivo riguroso del software CNC. Eficiencia: Alta eficiencia en el uso del material para reducir el desperdicio.
II. Bobinado y Aislamiento	Bobinadora Automatizada	Control de tensión electrónico. Capacidad para manejar hilos de	Mantenimiento: Calibración constante de los sensores de tensión. Eficiencia: Reduce errores

<b>Categoría</b>	<b>Equipo Clave</b>	<b>Especificaciones y Capacidad</b>	<b>Mantenimiento y Eficiencia</b>
		diferentes calibres y ancho de bobina variable.	humanos, asegura la uniformidad electromagnética.
III. Tratamiento Dieléctrico (CRÍTICO)	Autoclave de Secado al Vacío	Horno sellado con capacidad para alcanzar vacío ( $\leq 1$ mbar) y temperatura controlada. Capacidad adaptada al transformador más grande a producir (p. ej., 50 t).	Mantenimiento: Crítico en sellos y sistemas de vacío/calefacción. Eficiencia: El paso más importante para la calidad y longevidad del producto.
	Planta de Filtrado y Desgasificado de Aceite	Sistema de filtrado de doble etapa de calentamiento y desgasificación. Capacidad de reducir $< 5$ PPM.	Mantenimiento: Frecuente en filtros y bombas. Eficiencia: Asegura la calidad del fluido dieléctrico antes del vaciado final.
IV. Ensamble y Acabados	Grúas Viajeras (Puentes Grúa)	Capacidad mínima de 20-30 ton en línea de ensamble y hasta 50 ton en patio de pruebas.	Mantenimiento: Rutinario de rieles y motores. Eficiencia: Esencial para la seguridad y el flujo del proceso (manejo de carga pesada).
	Cabina de Pintura y Horno	Cabina presurizada con ventilación industrial y horno de curado por temperatura.	Mantenimiento: Limpieza de filtros y chequeo de quemadores. Eficiencia: Garantiza el acabado anticorrosivo y la durabilidad exterior del tanque.
V. Control de Calidad	Laboratorio de Alta Tensión	Equipos para pruebas de impulso, medición de pérdidas, impedancia y transformadores de medida para pruebas de rutina (según RETIE, NTC, IEC).	Mantenimiento: Calibración anual certificada por laboratorios acreditados. Eficiencia: Único medio para certificar la conformidad y seguridad del producto.

## Proveedores Nacionales y Extranjeros

Dada la especialización de la maquinaria, los equipos críticos suelen ser importados, mientras que la metalmecánica y los servicios auxiliares pueden ser cubiertos por la robusta industria local de Medellín.

- Proveedores Extranjeros (Maquinaria Crítica): La tecnología de punta (Máquinas CNC de núcleo, Bobinadoras Automatizadas y Autoclaves) proviene típicamente de Europa (Italia, Alemania) y Asia (Corea del Sur, China). Es crucial seleccionar proveedores con experiencia en soporte técnico en Latinoamérica.
- Proveedores Nacionales (Equipos Auxiliares): La industria metalmecánica de Antioquia puede suministrar equipos como:
  - Grúas Viajeras: Fabricantes nacionales con experiencia en proyectos industriales.
  - Tanques de Almacenamiento: Tanques para aceite dieléctrico y sistemas de tuberías.
  - Cabinas de Pintura/Horneado: Fabricantes especializados en sistemas de ventilación y curado industrial.

Tabla 12. Precios y Condiciones de Pago (Estimación)

<b>Categoría</b>	<b>Rango de Inversión Estimado (USD)</b>	<b>Condiciones de Pago Típicas</b>
Maquinaria Crítica (I, II, III, V)	\$3.000.000 a \$8.000.000	30% adelanto, 60% contra envío (FOB), 10% contra puesta en marcha (aceptación).
Equipos Auxiliares (Nacionales)	\$500.000 a \$1.500.000	50% adelanto, 50% contra entrega/instalación.
Inversión Total Estimada (Solo Maquinaria)	\$3.500.000 a \$9.500.000 (mínimo)	Uso de cartas de crédito (L/C) irrevocables para transacciones internacionales.

## Costos de Nacionalización

Los costos de nacionalización (Costo, Seguro y Flete – CIF) son significativos y deben considerarse en la inversión:

- Aranceles: Los equipos que no se acojan a beneficios específicos (como los de CTel o eficiencia energética) suelen tener aranceles (impuestos de importación). No obstante, la maquinaria industrial puede tener arancel cero o reducido si no existe producción nacional similar (solicitud ante el Ministerio de Comercio).
- IVA: La maquinaria y equipos importados, incluyendo el hardware de precisión, están sujetos al Impuesto al Valor Agregado (19%), a menos que

se acojan a la exención de IVA por ser equipos de CTel o de Eficiencia Energética (Ley 1715 de 2014).

- Logística y Seguro: Costos de transporte internacional, seguro marítimo, descarga portuaria, manipulación de carga extra dimensionada y flete terrestre hasta Medellín.

### Requerimientos de Instalación y Montaje

La instalación de la fábrica requiere precisión ingenieril:

- Cimentación: Se requiere cimentación profunda y reforzada para las Grúas Viajeras (rieles) y una losa de alta resistencia para soportar el peso de los transformadores en el patio de pruebas.
- Autoclave: El horno de vacío requiere una cimentación sísmica especial y la instalación de tuberías de alto vacío, gas y líneas eléctricas de alto amperaje.
- Laboratorio de Pruebas: Debe ser construido como una jaula de Faraday para aislar las pruebas electromagnéticas y cumplir con todos los requerimientos de seguridad y distancias de aislamiento del RETIE.
- Montaje: La maquinaria crítica (CNC y Autoclave) generalmente es montada, nivelada y calibrada por técnicos extranjeros del proveedor, como parte del contrato de compra.

Tabla 13. Herramientas, Vehículos y Mobiliario Necesario

<b>Categoría</b>	<b>Descripción y Función</b>
Herramientas Especializadas	Herramientas de bobinado a mano, equipos de medición de micrones, herramientas de torque y precisión para ensamble, equipos de seguridad para alta tensión y trabajos en caliente.
Vehículos de Apoyo	Montacargas de capacidad media (5 – 10 Ton) para movimiento interno de bobinas/componentes, y una camioneta para soporte de ingeniería y ventas. El transporte final de transformadores requiere la contratación de flotas especializadas en carga extra dimensionada (uso de las vías 4G).
Mobiliario y TI	Mobiliario de oficina para Ingeniería y Administración, software CAD/BIM para diseño, sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) para gestión de inventarios y producción (Lean), y computadores de alta capacidad para simulaciones electromagnéticas.

### **10.5. EDIFICIOS E INSTALACIONES**

A continuación, se presenta la descripción de las obras necesarias, organizada según las necesidades iniciales, bajo el concepto de Tamaño Mínimo Viable (estimado en 2.000 a 3.000 m<sup>2</sup> construidos):

#### Adecuación e Infraestructura

Para garantizar la operatividad y calidad del proceso de manufactura, se requieren las siguientes adaptaciones técnicas del edificio para el proceso de manufactura.

- Cimentación Especializada: Estructura reforzada para soportar las cargas dinámicas de las grúas viajeras y la carga estática del Autoclave.
- Aislamiento Ambiental: Instalación de sistemas de HVAC y sellado hermético en el área de bobinado y ensamble (Zona Dieléctrica) para mantener un ambiente de baja humedad que garantice la calidad del aislamiento del transformador.
- Sistemas de Extracción y Ventilación: Implementación de cabinas y sistemas de extracción de gases en las áreas de pintura y manipulación de solventes.

#### Edificios, bodegas y estructuras

Esta categoría representa la mayor inversión y se centra en la funcionalidad pesada y la integridad dieléctrica.

- Nave de Producción Principal: Se requiere una estructura de gran altura libre (mínimo 10 metros) para permitir la operación segura del puente grúa (esencial para el manejo de núcleos y tanques). El piso debe ser una losa industrial de alta resistencia diseñada para soportar cargas concentradas y el tráfico constante de montacargas pesados.
- Laboratorio de Pruebas (Jaula de Faraday): Es una estructura técnica obligatoria y aislada donde se llevan a cabo las pruebas de alta tensión. Su diseño debe funcionar como una jaula de Faraday para contener el campo electromagnético y cumplir con la normativa RETIE.
- Zona Dieléctrica y Secado: Es un recinto crítico que requiere aislamiento térmico y control estricto de humedad y contaminantes. Debe incluir la cimentación especial necesaria para anclar y operar el Autoclave de Secado al Vacío.

#### Instalaciones auxiliares y de servicios

Estas instalaciones aseguran la operatividad y la calidad de la energía, siendo vitales para el proceso.

- Suministro Eléctrico de Alta Capacidad: Se requiere la construcción de una Subestación Eléctrica Dedicada con la capacidad adecuada para la demanda del Autoclave, la maquinaria CNC y el Laboratorio de Pruebas. La estabilidad de potencia es crucial.
- Red de Gas y Aire: Puntos de conexión para la red de Gas Natural (combustible del Autoclave) y la red de Aire Comprimido Industrial para herramientas neumáticas y sistemas de limpieza.
- Sistemas de Seguridad Industrial: Instalación de redes contra incendio y sistemas de contención de derrames (diques) en las zonas de almacenamiento de aceite dieléctrico y materiales inflamables.

#### Oficinas, pasillos, vías de acceso y parqueaderos

Enfocados en la optimización del flujo y la minimización de costos administrativos.

- Oficinas y Servicios Administrativos: Se prioriza una estructura modular o mezanine anexo a la nave de producción para Gerencia, Ingeniería y Administración, minimizando la superficie de construcción en la primera fase.
- Pasillos y Flujo Productivo: El diseño interno debe seguir un flujo lineal o en "U" para evitar cuellos de botella y facilitar el movimiento eficiente de la parte activa del transformador a través de las etapas críticas (bobinado, montaje, secado, pruebas).
- Parqueaderos: Espacios mínimos para el personal administrativo y operativo.

### Obras exteriores, jardines

Diseño funcional que prioriza la logística y la seguridad sobre la estética.

- Patios de Maniobra Logística: Esta es la principal obra exterior. Se debe pavimentar un área exterior sustancial con losa de alta resistencia para la carga, descarga y maniobra de camiones de gran tamaño y peso (transporte de transformadores).
- Cerramiento Perimetral: Instalación de un cerramiento de seguridad robusto y una caseta de vigilancia para control de acceso.
- Paisajismo y Jardines: Diseño funcional y de bajo mantenimiento, limitando la inversión inicial en áreas verdes a lo estrictamente necesario.

### Diseños preliminares

El desarrollo de los diseños preliminares para la fábrica de transformadores debe enfocarse en la viabilidad técnica y la optimización del flujo de producción, cumpliendo desde el inicio con las normativas colombianas de sismo-resistencia (NSR-10) y seguridad eléctrica (RETIE).

Los diseños preliminares son el primer paso arquitectónico y de ingeniería civil, traduciendo el flujograma productivo en un layout físico funcional.

#### 1. Diseño del Layout Funcional

El entregable clave de esta fase es el Plano de Distribución General, que debe establecer:

- Flujo de Materiales: Confirmación del flujo lineal o en "U" desde la recepción de materia prima importada hasta el patio de despacho, evitando cruces entre materiales limpios (aislantes) y zonas contaminantes (soldadura/pintura).
- Distribución de Zonas Críticas: Ubicación precisa y dimensiones preliminares de la Zona Dieléctrica Aislada (con el Foso/Pit para el Autoclave) y la Zona de Laboratorio de Pruebas, asegurando que su aislamiento y seguridad no interfieran con la nave principal.
- Zonificación de Carga: Identificación de las áreas donde se requerirá la cimentación más robusta (rieles de grúas viajeras, base del Autoclave, bases de la subestación).

## 2. Diseño Estructural Básico

Se establecen los requisitos mínimos de ingeniería civil que impactan el costo inicial:

- Esquema Estructural: Definición del uso de acero estructural para la nave principal (por la altura y los grandes claros) y el uso de concreto reforzado de alta especificación para la losa y la cimentación.
- Pre-Diseño Sísmico: Verificación inicial del cumplimiento de la NSR-10 (Norma Sismo Resistente de Colombia), asumiendo la amenaza sísmica intermedia de la región. Esto es crucial para el diseño de las columnas y la estructura del Laboratorio (Jaula de Faraday).
- Requerimientos de Altura: Confirmación de la altura mínima de 10 a 12 metros necesaria para la operación segura de las Grúas Viajeras.

## 3. Diseño de Servicios e Infraestructura

Se bosquejan las necesidades de utilidades para la operación:

- Plano de Ubicación de Subestación: Identificación del espacio externo para la Subestación Eléctrica Dedicada (EPM) y las rutas de acometida.
- Flujo Logístico Exterior: Esquema de los Patios de Maniobra con los radios de giro necesarios para camiones de carga extra dimensionada.
- Esquema de Servicios: Ubicación de cuartos de máquinas, ventilación forzada para la cabina de pintura y las acometidas de gas natural y agua industrial.
- El diseño preliminar debe ser un documento de alcance funcional y técnico que permita estimar con mayor precisión los costos de la obra civil y proceder con el estudio de suelos.

## Exigencias Técnicas de Terreno y Construcción

Terreno, Dimensiones y Requerimientos Físicos

Tabla 14.Exigencias Técnicas

Exigencia	Detalle Técnico Requerido	Impacto en el Proyecto
Terreno	Topografía Plana y Estable: Fundamental para reducir costos de excavación en las laderas y asegurar la cimentación de carga pesada. Debe tener acceso directo a vías principales (para camiones).	La estabilidad del suelo es vital para los equipos.
Dimensiones Mínimas	Lote total: $\approx 5.000 \text{ m}^2$ (mínimo). Área Construida Cubierta: $\approx 2.000$ a $3.000 \text{ m}^2$ .	Permite el flujo lineal de producción y un amplio patio de maniobra para el despacho.
Requerimientos Físicos	Altura Libre: Mínimo 10 a 12 metros en la Nave Principal. Pisos: Losa de	La altura es obligatoria para los puentes grúas, y

Exigencia	Detalle Técnico Requerido	Impacto en el Proyecto
	concreto reforzado de alta especificación para soportar el peso de los transformadores y grúas. Estructura: Debe cumplir con la NSR-10 (Norma Sismo Resistente).	el cumplimiento de la NSR-10 protege la inversión y el personal.

Tabla 15. Materiales, Mano de Obra y Equipamiento

Recurso	Tipo y Uso Específico	Exigencia Local
Materiales Principales	Acero Estructural (para la nave principal y grúas) y Concreto Reforzado (para cimentación, pisos y muros del Laboratorio/Foso). Materiales ignífugos y aislantes en el área de pintura y el cuarto de aislamiento dieléctrico.	Uso de proveedores locales de acero y concreto, pero bajo especificaciones de diseño internacional.
Mano de Obra Necesaria	Ingenieros Civiles y Electricistas con experiencia en proyectos industriales. Técnicos de Construcción certificados y con experiencia en alta tensión para la instalación de la subestación.	El talento certificado está disponible en la región (SENA, Universidades), reduciendo costos de traslado de personal.
Equipos y Herramientas	Se requieren equipos estándar de construcción pesada (excavadoras, formaletas). Para el montaje especializado, son indispensables grúas móviles de alto tonelaje y herramientas de precisión para la nivelación de los rieles de las grúas viajeras y el Autoclave.	El montaje final del Autoclave y el Laboratorio requiere la supervisión o ejecución directa por el proveedor tecnológico (asistencia técnica extranjera).
Instalaciones Críticas	Jaula de Faraday (apantallamiento) para el Laboratorio de Pruebas y sistema de ventilación/filtrado para la Cabina de Pintura.	Cumplimiento del RETIE y las normativas del AMVA.

### Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento de la infraestructura es un factor de costo fijo que debe gestionarse proactivamente para asegurar la continuidad del proceso:

#### Operación

La operación diaria debe seguir un protocolo de Separación de Flujos:

- Flujo Interno: Uso estricto de las Grúas Viajeras para el movimiento de componentes pesados (núcleos y tanques), con chequeos diarios de seguridad.

- Servicios: Monitoreo constante de la Subestación Eléctrica y los sistemas de climatización en la Zona Dieléctrica para asegurar que la humedad se mantenga en niveles bajos (control de calidad).
- Ambiente: Aplicación de protocolos de limpieza industrial para evitar que el polvo y los residuos metálicos contaminen las bobinas antes del secado.

### Mantenimiento

El mantenimiento debe ser principalmente preventivo y legalmente obligatorio para proteger la inversión y cumplir con la regulación:

- Mantenimiento Preventivo Estructural: Inspección anual de la estructura de acero, los rieles de las grúas y la cimentación del Autoclave para detectar posibles asentamientos o corrosión.
- Mantenimiento Regulatorio: Calibración y certificación periódica de los equipos del Laboratorio de Pruebas por entes acreditados para mantener la Certificación RETIE de los productos.
- Mantenimiento Ambiental: Limpieza y mantenimiento de los sistemas de filtración de aire y las trampas de aceite y residuos, cumpliendo con las exigencias del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Servicios Públicos: Contratos de mantenimiento con empresas especializadas para la Subestación y los transformadores internos, asegurando la calidad y estabilidad del suministro.

### Análisis de alternativas de construir o arrendar

La decisión entre construir o arrendar las instalaciones en Medellín se inclina fuertemente hacia la construcción o adecuación profunda, ya que la opción de arrendar no es viable para la totalidad del proceso productivo de transformadores. La rentabilidad del proyecto está ligada directamente al control de calidad y seguridad; por lo tanto, es indispensable asegurar la infraestructura civil para las áreas críticas. Resulta prácticamente imposible arrendar una bodega industrial que ya cuente con los requisitos estructurales del laboratorio de pruebas (jaula de Faraday) para la certificación RETIE o la cimentación y aislamiento necesarios para un horno de secado de gran capacidad. Aunque la construcción exige un alto costo inicial y un plazo de ejecución largo, garantiza el control total sobre las especificaciones de la losa de alta resistencia y la altura libre ( $\geq 10$  m) para los puentes grúa, creando un activo inmobiliario especializado que es fundamental para la seguridad, el flujo de producción y la durabilidad del producto final.

## **11. ESTUDIO ECONÓMICO – FINANCIERO**

En esta fase se analizan los recursos necesarios para ejecutar el proyecto, los ingresos esperados, los costos asociados, las fuentes de financiamiento y los beneficios generados a lo largo del horizonte de evaluación.

A partir de los resultados obtenidos en las etapas previas, incluyendo el estudio de mercado, el estudio técnico y la evaluación organizacional, se construye el flujo de caja proyectado del proyecto. Este flujo contempla todos los elementos relevantes para la operación de la fábrica de transformadores eléctricos: inversiones iniciales (fijas y diferidas), costos operacionales (materias primas, mano de obra, mantenimiento, etc.), ingresos por ventas, gastos administrativos, impuestos, depreciaciones y condiciones de financiamiento.

Este análisis busca entonces determinar la rentabilidad económico-financiera del proyecto, identificando su viabilidad en términos de generación de valor, recuperación de la inversión y sostenibilidad financiera.

### Horizonte de Evaluación

Se adopta un horizonte de evaluación de 10 años, acorde con la vida útil estimada de la infraestructura y equipos industriales, y con la recuperación esperada del capital invertido. El primer año corresponde a la etapa de inversión y puesta en marcha.

### Supuestos Financieros

- Moneda de Evaluación: Pesos colombianos (COP), con algunos valores de referencia en USD para maquinaria y equipos importados.
- Tasa de Descuento: Se utiliza una tasa de descuento del 14%, correspondiente al costo promedio ponderado de capital (WACC) estimado para proyectos industriales en Colombia, ajustado por el riesgo sectorial.
- Inflación: Se considera la inflación promedio anual del 4% (fuente: Banco de la República de Colombia).
- Tipo de Cambio Base: 4.000 COP/USD (promedio proyectado para los próximos años según el Ministerio de Hacienda).

### Indicadores de Evaluación

Los principales indicadores financieros que se calcularán son:

Tabla 16. Indicadores Financieros

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
VPN (Valor Presente Neto)	Mide el valor actualizado de los flujos esperados. Un VPN positivo indicará que el proyecto genera valor.
TIR (Tasa Interna de Retorno)	Es la tasa de descuento que iguala a cero el VPN. Se compara con el WACC. Si $TIR > WACC$ , el proyecto es viable financieramente.
Relación Beneficio/Costo (B/C)	Razón entre los beneficios actualizados y los costos actualizados. Valores $> 1$ indicarán rentabilidad.
PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión)	Tiempo necesario para recuperar la inversión con los flujos netos generados.

Nota: Los cálculos desarrollados en este capítulo se basan en valores estimados y supuestos obtenidos de fuentes primarias (encuestas, entrevistas) y secundarias (análisis de mercado, referencias industriales, catálogos de proveedores), con el objetivo de representar un escenario realista, pero preliminar.

### 11.1. PRESUPUESTO DE INVERSIONES

Esta sección comprende el desglose detallado de los recursos necesarios para poner en marcha el proyecto, organizados en tres grandes categorías: Inversiones fijas, Inversiones diferidas y Capital de trabajo. La información proviene de los estudios técnico, de mercado y organizativo, consolidando así los costos estimados necesarios, antes de la operación plena de la planta.

#### 11.1.1. Inversiones Fijas

Se refiere a los bienes tangibles de carácter permanente que permiten la operación física de la fábrica. Los siguientes son los rubros considerados:

Tabla 17. Inversiones Fijas

Categoría	Detalle Técnico	Valor Estimado (COP)	Fuente
Terreno	Adquisición de un lote de 5.000 m <sup>2</sup> , en una zona industrial del Valle de Aburrá con acceso vehicular para carga pesada.	\$3.000.000.000	Páginas inmobiliarias como Finca Raíz, Mercadolibre, La Lonja Propiedad Raíz.
Construcciones y Obras Civiles	Construcción de la Nave industrial (2.000 m <sup>2</sup> ), laboratorio, oficinas, patios, cerramiento.	\$5.000.000.000	Estimación propia.
Maquinaria y Equipos	Compra de equipos críticos (autoclave, bobinadoras, grúas, laboratorio), auxiliares.	\$2.278.140.000	Datos extraídos de catálogos de proveedores industriales como Made-in-China.
Vehículos	Compra de montacargas y vehículo operativo para ingeniería y ventas.	\$250.776.000	Datos extraídos de catálogos de proveedores industriales como Made-in-China.
Muebles y Enseres	Mobiliario para oficinas administrativas, sala de juntas, comedor y vestidores.	\$86.250.000	Datos extraídos de Homecenter

<b>Categoría</b>	<b>Detalle Técnico</b>	<b>Valor Estimado (COP)</b>	<b>Fuente</b>
Repuestos y Herramientas	Repuestos para línea de producción, herramientas dieléctricas.	\$392.274.900	Datos extraídos de catálogos de proveedores industriales
<b>Total Inversión Fija Estimada</b>		<b>\$11.007.440.900</b>	

### 11.1.2. Inversiones Diferidas

Incluye todos los gastos intangibles, de carácter no recurrente, pero esenciales durante la fase de instalación y puesta en marcha de la fábrica, que permiten constituir legalmente la empresa, organizar el equipo locativo y garantizar la entrada en operación.

Tabla 18. Inversiones Diferidas

<b>Categoría</b>	<b>Detalle Técnico</b>	<b>Valor Estimado (COP)</b>	<b>Fuente</b>
Gastos de organización	Constitución legal, registros, honorarios notariales, seguros iniciales y gerencia preoperativa.	\$400.000.000	Cámara de Comercio y datos del mercado.
Gastos de montaje, instalación, pruebas y puesta en marcha	Montaje de maquinaria, calibración de equipos, asistencia técnica.	\$300.000.000	Datos del mercado.
Patentes y licencias	Registro de marca, uso de tecnología y software licenciado	\$120.000.000	SIC – Superintendencia
Capacitación técnica	Entrenamiento especializado en operación de equipos y normas RETIE	\$200.000.000	Estimación de fábrica
Gastos financieros durante la instalación	Intereses y comisiones bancarias durante el período de construcción de la fábrica, $i = 14\%$ EA durante 2 años.	\$3.297.829.293	Supuestos financieros
Estudios técnicos, jurídicos y ambientales	Costos de estudios ambientales, diseño técnico, asesorías legales.	\$400.000.000	Estudio Técnico
<b>Total Inversión Diferida Estimada</b>		<b>\$4.717.829.293</b>	

### 11.1.3. Capital de Trabajo

Corresponde a los recursos líquidos necesarios para operar la fábrica durante sus primeros ciclos productivos, antes de que los ingresos de la operación estabilicen el flujo de caja.

Tabla 19. Capital de Trabajo

<b>Categoría</b>	<b>Detalle Técnico</b>	<b>Valor Estimado (COP)</b>
Efectivo y bancos	Liquidez mínima para operación inicial (3 meses).	\$1.000.000.000
Inventario de materia prima y materiales	Acero GOES, cobre, aislantes, aceite dieléctrico (3 meses).	\$3.000.000.000
Productos en proceso	Componentes en fase de bobinado y secado.	\$500.000.000
Inventario de productos terminados	No se tiene stock debido a que todos los productos están bajo pedido.	-
Cuentas por cobrar (clientes)	Ventas a crédito (máx. 60 días).	\$2.760.000.000
Cuentas por pagar (proveedores)	Créditos obtenidos (30 días).	(\$500.000.000)
<b>Total Capital de Trabajo Estimado</b>		<b>\$6.760.000.000</b>

## 11.2. PRESUPUESTO DE COSTOS DE OPERACIÓN

El presupuesto de costos de operación comprende los gastos recurrentes requeridos para asegurar el funcionamiento eficiente de la fábrica y la comercialización de los transformadores eléctricos. Estos costos se clasifican en tres grandes categorías: costos de producción o fabricación, gastos de administración y gastos de ventas y comercialización. La base de cálculo es una producción mensual de 23 transformadores y considera tanto la mano de obra como los insumos directos e indirectos.

### 11.2.1. Costos de Producción o Fabricación

Se clasifican en costos variables, directamente proporcionales al nivel de producción, y costos fijos, que se mantienen constantes en el corto plazo.

Tabla 20. Costos Variables

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Componente del Costo Unitario</b>	<b>Costo Estimado (mensual)</b>
Materias primas y materiales directos	Acero, Cobre/Aluminio, Aceite dieléctrico.	30%	\$414.000.000
Mano de obra directa con prestaciones	Salarios, prestaciones y seguridad social de operarios.	15%	\$112.963.200

Energía Eléctrica Maquinaria	Consumo eléctrico del horno de secado al vacío y laboratorio	3%	\$41.400.000
Otros (materiales auxiliares)	Papelería, insumos y componentes menores	12%	\$69.000.000
<b>Total de Costos Variables Estimados</b>			<b>\$637.363.200</b>

Tabla 21. Costos Fijos

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Estimado (mensual)</b>
Mano de obra indirecta con prestaciones	Salarios de supervisores de planta, ingenieros de calidad y personal de mantenimiento.	\$96.600.000
Servicios y seguros	Servicios públicos (agua, gas, saneamiento), seguros industriales, vigilancia	\$100.000.000
Mantenimiento y repuestos	Mantenimiento preventivo de Grúas viajeras	\$40.000.000
<b>Total de Costos Fijos Estimados</b>		<b>\$236.600.000</b>

### 11.2.2. Gastos de Administración

Comprende todos los costos operativos asociados al funcionamiento administrativo, financiero y de soporte de la fábrica.

Tabla 22. Gastos de Administración

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Estimado (mensual)</b>
Salarios ejecutivos y administrativos con prestaciones	Salarios de Gerente General, Director de Ingeniería, Contador, Asistente Administrativo, Personal de ventas.	\$98.616.000
Pólizas de seguros	Seguro de responsabilidad civil, seguro de activos, seguro contra incendio y robo.	\$12.000.000
Impuestos	Impuesto de industria y comercio (ICA), Impuesto predial unificado (lote y construcciones).	\$10.000.000
Servicios contables y jurídicos	Honorarios de asesoría legal (cumplimiento RETIE/Normativa CREG), contaduría externa y auditoría.	\$8.000.000
Otros	Mantenimiento de oficinas, papelería, telefonía e internet, transporte.	\$4.000.000
<b>Total de Gastos de Administración Estimados</b>		<b>\$132.616.000</b>

### 11.2.3. Gastos de Ventas y Comercialización

Se incluyen los costos asociados a la promoción, logística y distribución de los productos al mercado nacional o internacional.

Tabla 23. Gastos de Ventas y Comercialización

Concepto	Descripción	Costo Estimado (mensual)
Representación y viáticos	Gastos de viaje para visitar a los clientes clave.	\$9.600.000
Publicidad y promoción	Inversión en marketing técnico, catálogos y participación en ferias.	\$9.600.000
Comisión sobre las ventas	Bonificaciones basadas en el valor de las ventas netas.	\$32.268.907
Fletes y transporte	Contratación de flotas para transporte de carga extra dimensionada (transformadores pesados).	\$9.600.000
Empaques y embalajes	Costo de bases de madera reforzada y materiales de protección para los equipos.	\$9.600.000
<b>Total de Gastos de Ventas y Comercialización Estimados</b>		<b>\$70.668.907</b>

### 11.2.4. Resumen del Presupuesto Anual de Costos de Operación

En la siguiente Tabla se resume el presupuesto anual de los costos de operación obtenidos previamente.

Tabla 24. Resumen de Presupuesto Anual

Tipo de Costo	Valor (COP)
Costos variables de producción	\$7.648.358.400
Costos fijos de producción	\$2.839.200.000
Gastos de administración	\$1.591.392.000
Gastos de ventas y comercialización	\$848.026.890
<b>Total Anual Estimado</b>	<b>\$12.926.977.290</b>

## 11.3. COSTOS POR DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN

Los costos por depreciación y amortización representan la asignación contable del desgaste o pérdida de valor de los activos tangibles e intangibles utilizados en la operación de la fábrica. Su adecuada estimación es fundamental para reflejar con precisión los costos reales de producción, así como para efectos tributarios y de planeación financiera.

### 11.3.1. Depreciación

Se ha adoptado el método lineal de depreciación, tal como lo permite el Estatuto Tributario Colombiano (Artículo 137), distribuyendo el valor de adquisición de los activos a lo largo de su vida útil estimada.

Tabla 25. Depreciaciones

<b>Categoría</b>	<b>Valor Total (COP)</b>	<b>Vida útil (años)</b>	<b>Depreciación Anual (COP)</b>
Terrenos	\$3.000.000.000	No se deprecia	-
Construcciones y obras civiles	\$5.000.000.000	20	\$250.000.000
Maquinaria y Equipo	\$2.278.140.000	10	\$227.814.000
Vehículos	\$250.776.000	5	\$50.155.200
Muebles y Enseres	\$86.250.000	10	\$8.625.000
Repuestos y herramientas	\$392.274.900	5	\$78.454.980
<b>Total Depreciación Anual</b>			<b>\$615.049.180</b>

### 11.3.2. Amortización

Las inversiones diferidas se amortizan también bajo el método lineal, conforme al periodo estimado en que generarán beneficios económicos al proyecto.

Tabla 26. Amortizaciones

<b>Categoría</b>	<b>Valor Total (COP)</b>	<b>Vida útil (años)</b>	<b>Depreciación Anual (COP)</b>
Gastos de organización	\$400.000.000	5	\$80.000.000
Gastos de montaje, instalación, pruebas y puesta en servicio	\$300.000.000	5	\$60.000.000
Patentes y licencias	\$120.000.000	10	\$12.000.000
Capacitación técnica	\$200.000.000	5	\$40.000.000
Gastos financieros durante la instalación	\$3.297.829.293	5	\$659.565.858
Estudios técnicos, jurídicos y ambientales	\$400.000.000	5	\$80.000.000
<b>Total Amortización Anual</b>			<b>\$931.565.858</b>

## 11.4. COSTOS FINANCIEROS

Los costos financieros constituyen un componente clave del flujo de caja del proyecto, dado que reflejan las cargas asociadas al uso de recursos de terceros, en este caso, el crédito bancario requerido para complementar la financiación del proyecto. En este estudio, se consideran los costos por intereses del capital prestado y la amortización de la deuda durante la etapa operativa, en función de la estructura financiera adoptada por el proyecto.

### 11.4.1. Intereses del capital prestado

El proyecto contempla una estructura financiera con un apalancamiento moderado, en la cual el 50% del capital requerido proviene de recursos propios y el 50% de un crédito bancario de largo plazo, destinado principalmente a cubrir parte de las inversiones fijas, diferidas y el capital de trabajo.

El préstamo asumido para el proyecto tiene las siguientes condiciones:

Tabla 27. Condiciones del Préstamo

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Monto del crédito	\$11.242.635.096,82
Tasa de interés efectiva anual	12,68% E.A.
Plazo del crédito	10 años (120 meses)
Sistema de amortización	Cuota fija (sistema francés)

Para mayor precisión, se ha utilizado el sistema de amortización francés, ampliamente aplicado en proyectos industriales, con una cuota fija anual que combina intereses decrecientes y abonos crecientes al capital.

Los intereses se calculan sobre el saldo de capital pendiente. Durante el primer año, que corresponde al inicio de operaciones, el monto total de intereses representa un desembolso relevante que afecta la rentabilidad del proyecto. A medida que se amortiza el capital, el valor de los intereses decrece anualmente.

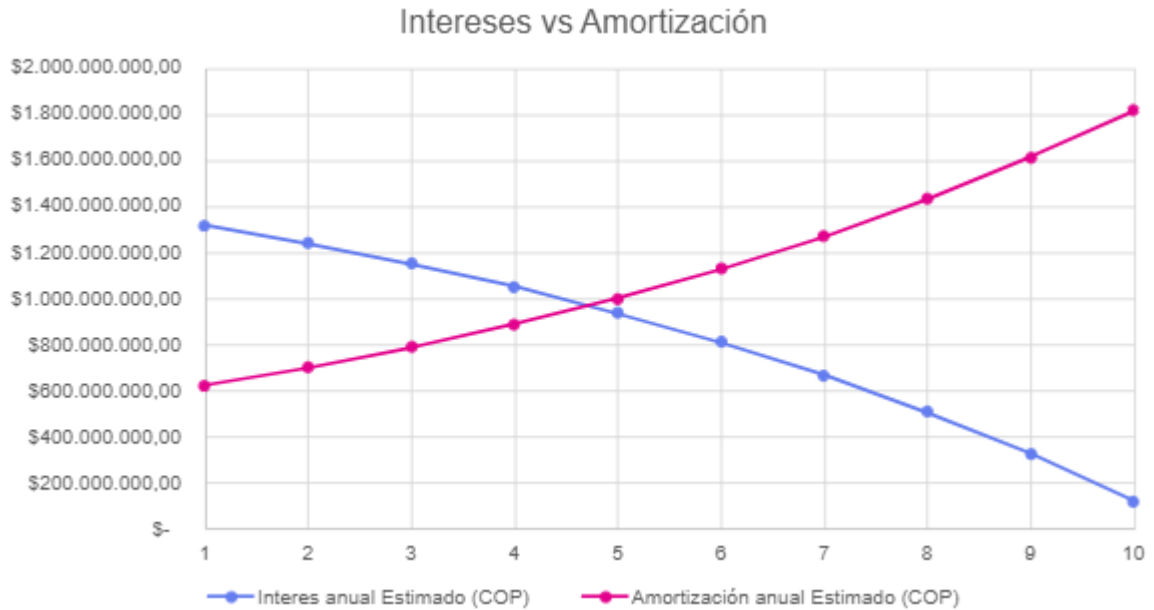
#### **11.4.2. Amortización del crédito**

La amortización del capital se refiere a la devolución progresiva del monto prestado, de acuerdo con el sistema elegido. En este caso, se ha proyectado el pago en cuotas anuales de capital conforme al sistema francés, iniciando en el año 1 y culminando en el año 10. El cronograma de pagos se integra en la construcción del flujo de caja del proyecto, como se muestra a continuación:

Tabla 28. Amortización del Crédito

<b>Año</b>	<b>Interés Anual Estimado (COP)</b>	<b>Amortización Anual Estimada (COP)</b>
1	\$1.315.760.370,66	\$619.829.446,20
2	\$1.237.150.489,47	\$698.439.334,39
3	\$1.148.570.899,84	\$787.018.924,02
4	\$1.048.757.201,08	\$886.832.622,78
5	\$936.284.626,98	\$999.305.196,88
6	\$809.547.715,27	\$1.126.042.108,59
7	\$666.737.390,92	\$1.268.852432,94
8	\$505.815.142,88	\$1.429.774.680,98
9	\$324.483.925,88	\$1.611.105.897,98
10	\$120.155.371,82	\$1.815.434.452,04
<b>TOTAL</b>	<b>\$8.113.263.141,80</b>	<b>\$11.242.635.096,82</b>

Figura 10. Comportamiento Intereses vs Amortización



Con base en estos parámetros, el total de intereses a pagar durante el horizonte del crédito asciende a \$8.113.263.141,80 y la amortización del capital alcanza \$11.242.635.096,82. Estos valores son esenciales para elaborar el flujo de caja del proyecto y permiten calcular los indicadores financieros como el VPN y la TIR desde la perspectiva del inversionista.

Podemos decir entonces de este análisis que la estructura de deuda adoptada refleja un esquema de apalancamiento financiero prudente (50%), lo cual permite equilibrar el riesgo y la rentabilidad esperada del proyecto. El sistema francés garantiza cuotas anuales constantes de \$1.935.589.823,06, facilitando la planificación financiera y la estabilidad del flujo de caja operativo.

Durante los primeros años, el peso de los intereses financieros es elevado (más del 60% de la cuota), disminuyendo progresivamente conforme se reduce el saldo de capital. Este patrón es coherente con la naturaleza de los activos industriales del proyecto, cuyo flujo de ingresos tiende a estabilizarse a partir del segundo año de operación.

El costo total del crédito asciende a \$19.355.898.232,62, lo que implica un costo financiero acumulado de aproximadamente 72% del capital prestado durante la década de amortización.

## 11.5. PRESUPUESTO DE INGRESOS

El presupuesto de ingresos representa los flujos de efectivo esperados por concepto de ventas y otras fuentes durante el horizonte de evaluación del proyecto. Se

construye con base en la capacidad de producción proyectada, el precio estimado por unidad, la inflación esperada y el comportamiento del mercado objetivo.

### 11.5.1. Ingresos operativos

Los ingresos operativos provienen directamente de la venta de transformadores eléctricos, siendo la principal fuente de recursos del proyecto, considerando:

- Producción inicial: 276 transformadores por año.
- Crecimiento anual de producción: 5%.
- Precio promedio por transformador: \$60.000.000 en el primer año.
- Inflación (IPC) proyectada: 4% anual.
- Horizonte de evaluación: 10 años.

Para determinar los ingresos operativos de cada año, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Ingresos}_n = \text{Unidades}_n \times \text{Precio}_n$$

Donde:

- $\text{Unidades}_n = 276 \times (1 + 0,05)^{n-1}$
- $\text{Precio}_n = \$60.000.000 \times (1 + 0,04)^{n-1}$

Este modelo de ingresos se construye bajo el supuesto de que toda la producción será vendida, lo cual es consistente con el análisis de mercado y los niveles de demanda insatisfecha identificados. La siguiente tabla presenta los resultados de los ingresos operativos estimados año a año, sin incluir impuestos.

Tabla 29. Ingresos Operativos Anuales

Año	Producción Estimada (Unidades)	Precio Unitario Estimado (COP)	Ingresos Operativos Estimados (COP)
1	276	\$60.000.000	\$16.560.000.000
2	300	\$62.400.000	\$18.720.000.000
3	324	\$64.896.000	\$21.026.304.000
4	348	\$67.491.840	\$23.487.160.320
5	372	\$70.191.513	\$26.111.243.208
6	396	\$72.999.174	\$28.907.673.300
7	420	\$75.919.141	\$31.886.039.640
8	444	\$78.954.906	\$35.056.423.152
9	468	\$82.112.102	\$38.429.419.860
10	492	\$85.396.586	\$42.016.165.812
<b>TOTAL</b>	<b>3840</b>	<b>-</b>	<b>\$282.200.429.292</b>

### 11.5.2. Otros ingresos

En esta etapa inicial del proyecto, no se contemplan fuentes adicionales de ingreso recurrentes, como alquiler de espacios, prestación de servicios a terceros o comercialización de subproductos. Sin embargo, se reconoce la posibilidad de incorporar en el mediano plazo otros ingresos operacionales asociados a:

- Servicios de mantenimiento postventa.
- Pruebas especializadas a terceros (uso del laboratorio de alta tensión).
- Consultorías técnicas a proyectos de infraestructura eléctrica.

Dado que estos ingresos aún no son cuantificables con certeza y dependen del desarrollo de capacidades adicionales, se ha optado por no incluirlos en la evaluación financiera base. Sin embargo, su aparición futura constituiría un escenario de optimismo o mejora sobre la rentabilidad proyectada.

## **11.6. CONSTRUCCIÓN DE LOS FLUJOS DE CAJA**

El flujo de caja consolida todos los ingresos, costos e inversiones a lo largo del horizonte de evaluación (10 años), permitiendo analizar la viabilidad económica bajo dos enfoques: desde la perspectiva del proyecto total y desde la perspectiva del inversionista.

En este estudio se presentan ambos flujos para determinar los efectos del financiamiento sobre los resultados financieros.

### **11.6.1. Flujo de caja del inversionista**

Este flujo considera únicamente los movimientos de efectivo que afectan directamente al inversionista, es decir, se excluyen los recursos provenientes de financiación externa (préstamos), así como el servicio de la deuda (pago de intereses y amortización del capital).

Incluye:

- Ingresos operativos y otros ingresos.
- Costos de operación (producción, administración y ventas).
- Costos por depreciación y amortización (no como egresos, pero sí para cálculo de impuestos).
- Impuestos sobre la renta (calculados sobre utilidad antes de impuestos).
- Inversiones iniciales (fijas, diferidas y capital de trabajo).
- Recuperación del capital de trabajo al finalizar el proyecto.
- Flujo neto de caja anual disponible para los inversionistas.

En el Anexo C se detalla el flujo de caja del inversionista.

Tabla 30. Flujo de Caja del Inversionista

		FLUJO DE CAJA INVERSIONISTA REAL										
INFLACIÓN		4%										
ANOS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FACTOR INFLACIONARIO		1,04	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,48	
Total ingresos (ventas)		\$ 16.560.000.000	\$ 18.720.000.000	\$ 21.026.304.000	\$ 23.487.160.320	\$ 26.111.243.208	\$ 28.907.673.300	\$ 31.886.039.640	\$ 35.056.423.152	\$ 38.429.419.860	\$ 42.016.165.812	
Costo materia prima		\$ 4.968.000.000	\$ 5.616.000.000	\$ 6.307.891.200	\$ 7.046.148.096	\$ 7.833.372.918	\$ 8.672.301.888	\$ 9.565.811.780	\$ 10.516.926.780	\$ 11.528.825.681	\$ 12.604.849.411	
Costo de mantenido		\$ 480.000.000	\$ 484.800.000	\$ 489.648.000	\$ 494.544.480	\$ 499.489.925	\$ 504.484.824	\$ 509.529.672	\$ 514.624.969	\$ 519.771.219	\$ 524.968.931	
Salarios		\$ 3.896.150.400	\$ 3.772.113.408	\$ 3.647.555.676	\$ 3.524.506.790	\$ 4.002.996.925	\$ 4.083.056.864	\$ 4.164.718.001	\$ 4.248.012.361	\$ 4.332.972.808	\$ 4.419.632.061	
Costos fijos		\$ 2.524.800.000	\$ 2.550.048.000	\$ 2.575.548.480	\$ 2.601.303.965	\$ 2.627.317.004	\$ 2.653.590.174	\$ 2.680.126.076	\$ 2.706.927.337	\$ 2.733.996.610	\$ 2.761.336.576	
Costos y gastos totales		\$ 11.670.950.400	\$ 12.422.961.408	\$ 13.220.643.356	\$ 14.066.503.330	\$ 14.963.176.772	\$ 15.913.433.751	\$ 16.920.185.530	\$ 17.986.491.447	\$ 19.115.566.118	\$ 20.310.786.979	
UTILIDAD BRUTA EBITDA		\$ 4.889.049.600	\$ 6.297.038.592	\$ 7.805.660.644	\$ 9.420.656.990	\$ 11.148.066.436	\$ 12.994.239.549	\$ 14.965.854.110	\$ 17.069.931.705	\$ 19.313.853.742	\$ 21.705.378.833	
Depreciaciones		\$ 1.339.665.008	\$ 1.177.260.442	\$ 1.025.366.782	\$ 883.415.740	\$ 750.867.194	\$ 627.207.862	\$ 511.950.036	\$ 404.630.375	\$ 304.808.749	\$ 212.067.145	
UAI		\$ 3.549.384.592	\$ 5.119.778.150	\$ 6.780.293.862	\$ 8.537.241.250	\$ 10.397.199.241	\$ 12.367.031.687	\$ 14.453.904.074	\$ 16.665.301.330	\$ 19.009.044.993	\$ 21.493.311.689	
Gastos financieros		\$ 1.265.154.209	\$ 1.143.815.171	\$ 1.021.075.348	\$ 896.482.051	\$ 769.557.715	\$ 639.797.319	\$ 508.965.620	\$ 369.594.170	\$ 227.978.102	\$ 81.172.864	
UAI		\$ 2.284.230.382	\$ 3.975.962.979	\$ 5.759.218.514	\$ 7.640.759.199	\$ 9.627.641.527	\$ 11.727.234.368	\$ 13.947.238.454	\$ 16.295.707.160	\$ 18.781.066.890	\$ 21.412.139.025	
IMPUESTOS		\$ 371.057.596	\$ 393.990.745	\$ 4.319.413.886	\$ 5.730.569.399	\$ 7.220.731.145	\$ 8.795.425.776	\$ 10.460.428.840	\$ 12.221.760.370	\$ 14.085.800.168	\$ 16.059.104.268	
UTILIDAD NETA		\$ 1.713.172.787	\$ 2.981.972.234	\$ 4.319.413.886	\$ 5.730.569.399	\$ 7.220.731.145	\$ 8.795.425.776	\$ 10.460.428.840	\$ 12.221.760.370	\$ 14.085.800.168	\$ 16.059.104.268	
Depreciación		\$ 1.339.665.008	\$ 1.177.260.442	\$ 1.025.366.782	\$ 883.415.740	\$ 750.867.194	\$ 627.207.862	\$ 511.950.036	\$ 404.630.375	\$ 304.808.749	\$ 212.067.145	
Ingresos X Préstamos		\$ 0										
Abono a capital		\$ 595.989.852,12	\$ 645.746.426,03	\$ 699.656.957,66	\$ 758.068.242,69	\$ 821.356.029,24	\$ 889.927.435,00	\$ 964.223.566,12	\$ 1.044.722.354,75	\$ 1.131.941.633,53	\$ 1.226.442.466,65	
Inversión Activos		\$ 15.325.270.194										
Estudios de viabilidad		\$ 400.000.000										
Inversión en capital de W		\$ 6.760.000.000										
Variación capital de trabajo			\$ (1.131.995.581,54)	\$ 693.370.144,35	\$ 739.834.948,83	\$ 788.907.590,17	\$ 840.722.271,03	\$ 895.419.814,17	\$ 953.148.099,02	\$ 1.014.061.985,90	\$ 1.078.323.828,30	
Recuperación capital de trabajo											\$ 0,00	
Valor de Desecho(VLA)											\$ 12.631.793.100	
F. DE C. NETO		\$ (22.485.270.194)	\$ 3.588.843.525	\$ 2.820.116.106	\$ 3.905.288.761	\$ 5.067.009.306	\$ 6.309.520.039	\$ 7.637.286.389	\$ 9.055.007.212	\$ 10.567.626.404	\$ 12.180.343.455	\$ 34.465.978.302
FACTOR DE DESCUENTO		1,000	0,912	0,832	0,759	0,693	0,632	0,576	0,526	0,480	0,399	
VALORES PRESENTES		\$ (22.485.270.194)	\$ 3.274.032.699	\$ 2.347.058.772	\$ 2.965.095.020	\$ 3.509.664.911	\$ 3.968.931.406	\$ 4.402.607.856	\$ 4.791.987.118	\$ 5.069.969.597	\$ 5.331.088.917	\$ 13.791.807.856
SUMA ACUMULADA		\$ (22.485.270.194)	\$ (19.211.237.505)	\$ (16.864.178.733)	\$ (13.899.083.712)	\$ (10.389.418.801)	\$ (6.402.487.395)	\$ (1.969.978.539)	\$ 2.762.107.590	\$ 7.832.077.177	\$ 13.183.166.093	\$ 26.924.973.950

Este flujo permitió calcular los indicadores financieros más importantes, como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) para el inversionista, la relación Beneficio/Costo (RBC) y el valor de recuperación de la inversión (PRI), mostrando si el proyecto genera valor sobre el capital propio invertido. Del flujo de caja obtenemos los siguientes valores de los indicadores del proyecto:

Tabla 31. Indicadores Financieros del Inversionista

Indicador	Valor
Tasa Interna de Retorno (TIR)	24,34%
Valor Presente Neto (VPN)	\$26.294.973.949,86
Tasa Verdadera de Retorno (TVR)	18,59%
Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)	\$6.112.655.250,37
Relación Beneficio/Costo (RBC)	1,18
Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)	6 años

Los resultados obtenidos muestran que la TIR del 24,34% indica que, con base en los flujos de caja netos esperados, el proyecto puede generar una rentabilidad superior casi del doble del costo de oportunidad del capital (asumiendo un costo de capital del 14%). Esto refleja una alta eficiencia en el uso del capital invertido. Al ser la TIR superior al costo de capital (14%), el proyecto es financieramente viable y atractivo para inversionistas, cumpliendo con el principio de maximización de valor.

El VPN de \$26 mil millones mide el valor total creado por el proyecto descontando todos los flujos futuros al valor presente. Un VPN positivo y de gran magnitud implica que el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que genera riqueza adicional considerable. Este valor sugiere que el proyecto aumenta significativamente el patrimonio de los inversionistas, lo cual es un argumento contundente a favor de su ejecución.

La TVR ajusta la TIR considerando el reintegro parcial de recursos o reinversiones a tasas distintas al rendimiento del proyecto, proporcionando una visión más

realista. La TVR del 18,59% sigue siendo superior al costo de capital, lo que confirma la viabilidad del proyecto, incluso bajo escenarios más conservadores de reinversión.

El CAUE transforma el flujo de caja neto en una serie uniforme anual, permitiendo comparaciones con otros proyectos o decisiones de inversión alternativas. Este valor representa la utilidad anual neta equivalente al ser un valor positivo de \$6 mil millones, el CAUE se transforma en BAUE, es decir, un Beneficio Anual Equivalente, útil para evaluar la eficiencia financiera anual del proyecto en relación con su inversión total.

Una RBC mayor que 1 indica que los beneficios superan los costos, validando la conveniencia económica del proyecto. Este indicador muestra que, por cada peso invertido, el proyecto retorna \$1,18 en valor presente de beneficios. Este es un índice de eficiencia económica.

Por último, el período de recuperación de la inversión PRI nos indica que el proyecto se recupera en 6 años sobre un horizonte de 10 años, lo que nos habla de una recuperación razonable, con 4 años de generación neta de valor adicional, esta recuperación rápida reduce la exposición al riesgo y hace atractivo el proyecto frente a financiadores y socios potenciales.

#### **11.6.2. Flujo de caja del proyecto**

El flujo de caja del proyecto muestra la rentabilidad económica general, sin considerar la estructura de financiamiento (es decir, como si todo se financiara con capital propio). Este enfoque es útil para medir la eficiencia del proyecto en su conjunto.

Incluye:

- Todos los ingresos esperados (operativos y otros).
- Todos los egresos operativos.
- Inversiones iniciales totales.
- Recuperación de capital de trabajo.
- Egresos por mantenimiento mayor si aplica (no incluidos en depreciación).
- Flujo neto de caja del proyecto.

En el Anexo C se detalla el flujo de caja del proyecto.

Tabla 32. Flujo de Caja del Proyecto

		FLUJO DE CAJA PROYECTO REAL										
INFLACION		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FACTOR INFLACIONARIO		1,04	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,48	
Total Ingresos (ventas)		\$ 16.560.000.000	\$ 18.720.000.000	\$ 21.026.300.000	\$ 23.487.160.320	\$ 26.111.243.208	\$ 28.907.673.300	\$ 31.886.039.640	\$ 35.056.423.152	\$ 38.429.419.860	\$ 42.016.165.812	
Costo materia prima		\$ 4.968.000.000	\$ 5.616.000.000	\$ 6.307.891.200	\$ 7.046.148.096	\$ 7.833.372.918	\$ 8.672.301.888	\$ 9.565.811.780	\$ 10.516.926.780	\$ 11.528.825.681	\$ 12.604.849.411	
Costo de mantenimiento		\$ 480.000.000	\$ 484.800.000	\$ 489.648.000	\$ 494.544.480	\$ 499.489.925	\$ 504.484.824	\$ 509.529.672	\$ 514.624.969	\$ 519.771.219	\$ 524.968.931	
Salarios		\$ 3.898.150.400	\$ 3.772.113.408	\$ 3.947.555.676	\$ 3.924.506.780	\$ 4.002.969.925	\$ 4.083.058.864	\$ 4.164.718.001	\$ 4.248.012.361	\$ 4.332.972.609	\$ 4.419.632.061	
Costos fijos		\$ 2.524.800.000	\$ 2.550.048.000	\$ 2.575.548.480	\$ 2.601.303.965	\$ 2.627.317.004	\$ 2.653.590.174	\$ 2.680.126.076	\$ 2.706.927.337	\$ 2.733.996.610	\$ 2.761.336.576	
Costos y gastos totales		\$ 11.870.950.400	\$ 12.422.961.408	\$ 13.220.643.356	\$ 14.066.503.330	\$ 14.963.176.772	\$ 15.913.433.751	\$ 16.920.185.530	\$ 17.986.491.447	\$ 19.115.566.118	\$ 20.310.786.979	
UTILIDAD BRUTA EBITDA		\$ 4.889.049.600	\$ 6.297.038.592	\$ 7.805.660.644	\$ 9.420.656.990	\$ 11.148.066.436	\$ 12.994.239.549	\$ 14.965.854.110	\$ 17.069.931.705	\$ 19.313.853.742	\$ 21.705.378.833	
Depreciaciones		\$ 1.339.665.008	\$ 1.177.260.442	\$ 1.025.366.782	\$ 883.415.740	\$ 750.867.194	\$ 627.207.862	\$ 511.950.036	\$ 404.630.375	\$ 304.808.749	\$ 212.067.145	
UAMI		\$ 3.549.384.592	\$ 5.119.778.150	\$ 6.780.293.862	\$ 8.537.241.250	\$ 10.397.199.241	\$ 12.367.031.687	\$ 14.453.904.074	\$ 16.665.301.330	\$ 19.009.044.993	\$ 21.493.311.689	
Gastos financieros		\$ 1.265.154.209	\$ 1.143.815.171	\$ 1.021.075.348	\$ 896.482.051	\$ 769.557.715	\$ 639.797.319	\$ 506.955.620	\$ 369.894.170	\$ 227.978.402	\$ 81.172.664	
UAI		\$ 2.284.230.382	\$ 3.975.962.978	\$ 5.759.218.514	\$ 7.640.759.199	\$ 9.627.641.527	\$ 11.727.234.368	\$ 13.947.238.454	\$ 16.295.707.160	\$ 18.781.069.090	\$ 21.412.139.025	
IMPUESTOS		\$ 571.057.696	\$ 963.990.745	\$ 1.439.804.629	\$ 1.910.189.800	\$ 2.406.910.382	\$ 2.931.808.592	\$ 3.486.808.613	\$ 4.073.926.790	\$ 4.695.266.723	\$ 5.353.034.756	
UTILIDAD NETA		\$ 1.713.172.787	\$ 2.981.972.234	\$ 4.319.413.886	\$ 5.730.969.399	\$ 7.220.731.145	\$ 8.795.425.776	\$ 10.460.428.840	\$ 12.221.780.370	\$ 14.085.800.168	\$ 16.059.104.268	
Depreciación		\$ 1.339.665.008	\$ 1.177.260.442	\$ 1.025.366.782	\$ 883.415.740	\$ 750.867.194	\$ 627.207.862	\$ 511.950.036	\$ 404.630.375	\$ 304.808.749	\$ 212.067.145	
Ingresos X Préstamos		\$ 0										
Abono a capital		\$ 595.989.852,12	\$ 645.746.426,03	\$ 699.656.957,66	\$ 758.068.242,69	\$ 821.356.029,24	\$ 889.927.435,00	\$ 964.223.566,12	\$ 1.044.722.354,75	\$ 1.131.941.633,53	\$ 1.226.442.466,65	
Inversión Activos		\$ 15.325.270.194										
Estudios de viabilidad		\$ 400.000.000										
Inversión en capital de W		\$ 6.760.000.000										
Variación en capital de trabajo			(\$ 1.131.995.581,34)	\$ 693.370.144,35	\$ 739.834.948,83	\$ 788.907.590,17	\$ 840.722.271,03	\$ 895.419.814,17	\$ 953.148.099,02	\$ 1.014.061.985,90	\$ 1.078.323.828,30	\$ 0,00
Recuperación capital de trabajo												\$ 12.631.793.100
Valor de Desecho(VLA)												\$ 6.789.456.256
= F. DE C. NETO		(\$ 22.485.270.194)	\$ 3.588.843.525	\$ 2.820.116.106	\$ 3.905.288.761	\$ 5.067.009.306	\$ 6.309.520.039	\$ 7.637.286.389	\$ 9.055.007.212	\$ 10.567.626.404	\$ 12.180.343.455	\$ 34.465.978.302
FACTOR DE DESCUENTO		1,000	0,931	0,866	0,806	0,750	0,698	0,650	0,604	0,563	0,523	0,487
VALORES PRESENTES		(\$ 22.485.270.194)	\$ 3.339.803.378	\$ 2.442.304.117	\$ 3.147.402.469	\$ 3.800.294.101	\$ 4.403.806.276	\$ 4.960.635.705	\$ 5.473.352.708	\$ 5.944.405.983	\$ 6.376.126.463	\$ 16.790.142.202
SUMA ACUMULADA		(\$ 22.485.270.194)	(\$ 19.145.466.815)	(\$ 16.703.162.698)	(\$ 13.595.760.231)	(\$ 9.795.466.130)	(\$ 5.351.659.854)	(\$ 391.024.149)	\$ 5.082.328.559	\$ 11.026.734.542	\$ 17.402.861.005	\$ 34.183.033.207

El flujo de caja del proyecto es fundamental para el cálculo del VPN del proyecto, la TIR del proyecto, la relación Beneficio/Costo (RBC) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

Tabla 33. Indicadores Financieros del Proyecto

Indicador	Valor
Tasa Interna de Retorno (TIR)	24,34%
Valor Presente Neto (VPN)	\$34.193.003.207
Tasa Verdadera de Retorno (TVR)	17,87%
Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)	\$7.275.001.530,05
Relación Beneficio/Costo (RBC)	1,21
Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)	6 años

En este caso, el proyecto presenta una TIR de 24,34%, lo cual supera ampliamente la tasa de descuento empleada en el análisis (14%), por lo tanto, el proyecto genera una rentabilidad superior al costo de oportunidad del capital, lo que indica una excelente capacidad para generar valor financiero.

Un VPN de \$34 mil millones nos refleja el valor en pesos de todos los ingresos y egresos proyectados del proyecto descontados al valor presente, en este caso, un valor positivo y alto confirma que el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que también genera un excedente significativo, siendo rentable desde el punto de vista financiero.

La TVR del 17,87% brinda una visión más conservadora del rendimiento, con una tasa ajustada más conservadora, en donde el retorno del proyecto es alto, reafirmando su atractivo financiero.

El proyecto genera, en promedio, un excedente neto de más de \$7.275 millones COP por año, lo que lo hace atractivo en términos de generación de excedentes anuales constantes.

En el caso de la relación Beneficio/Costo, se obtiene un valor superior a 1, lo que indica que los beneficios superan los costos, es decir que, por cada peso invertido, el proyecto genera 1,21 pesos, es decir, un retorno del 21% adicional por unidad de inversión, lo cual respalda su viabilidad financiera.

Desde el punto de vista del proyecto se puede evidenciar que es viable financieramente generando una recuperación de la inversión a los 6 años de operación comercial.

## **12. MARCO LEGAL, REGULATORIO Y AMBIENTAL**

El diseño, fabricación, comercialización y operación de una fábrica de transformadores eléctricos son acciones reguladas por un marco normativo que establece los lineamientos técnicos, de seguridad, ambientales y de calidad para su producción e instalación. Este marco busca garantizar el cumplimiento de estándares internacionales, la protección de los usuarios, el adecuado desempeño de los equipos y la sostenibilidad ambiental de las operaciones industriales.

### **12.1. NORMATIVA INTERNACIONAL**

A nivel internacional, existen dos organismos de referencia ampliamente adoptados por la industria de transformadores:

- IEC 60076: Emitida por la International Electrotechnical Commission, esta norma establece los requisitos generales para transformadores de potencia y distribución, incluyendo características eléctricas, parámetros de aislamiento, pruebas de tipo y rutina, criterios de diseño térmico, niveles de pérdidas, capacidades de sobrecarga, sistemas de enfriamiento, y procedimientos de ensayo. Esta norma se considera el estándar de referencia para exportación e integración en sistemas eléctricos globales (IEC 60076, 2011).
- IEEE C57: Esta norma es emitida por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) es la más utilizada en América del Norte, abarcando aspectos detallados de diseño, prueba, diagnóstico y operación de transformadores eléctricos en diferentes configuraciones (secos e inmersos en líquido). Particularmente, la norma IEEE C57.12.00 establece los requisitos generales de transformadores de distribución, mientras que la IEEE C57.91 define las guías de carga térmica y límites de (IEEE, 2015).

## 12.2. NORMATIVA NACIONAL

A nivel nacional, Colombia cuenta con una regulación específica:

- RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas): Es la normativa vigente en Colombia emitida por el Ministerio de Minas y Energía, que establece los requisitos de seguridad para los productos eléctricos, incluidos los transformadores. Define criterios para la instalación, operación y mantenimiento de transformadores según su ubicación (interior/exterior), tipo de aislamiento, nivel de tensión y sistema de puesta a tierra. Su última actualización (Resolución 40117 de 2024) exige certificación de conformidad para productos nuevos y reacondicionados, alineándose con estándares internacionales como IEC e IEEE (Ministerio de Minas y Energía, 2024).
  - Rigidez dieléctrica mínima de 28 kV para transformadores hasta 36 kV.
  - Distancias mínimas de seguridad de 1,5 m para mantenimiento.
  - Resistencia máxima de puesta a tierra  $\leq 25$  ohmios.
  - Sistemas de mitigación de incendios en transformadores en aceite.
  - Certificaciones obligatorias previas a la comercialización.

El cumplimiento de estas normativas es obligatorio en cualquier proyecto industrial, ya que garantiza la seguridad de las personas, la protección de los activos y la compatibilidad técnica del sistema eléctrico nacional con las tendencias globales.

## 12.3. GESTIÓN AMBIENTAL

Para cumplir con los compromisos ambientales nacionales e internacionales, los transformadores eléctricos deben gestionarse bajo estrictas prácticas ambientales, especialmente en relación con los PCBs y los impactos generados por una planta de producción.

### Gestión de PCB

El PCB —Bifenilo Policlorado— (en inglés PolyChlorinated Biphenyls) es un compuesto químico formado por cloro, carbono e hidrógeno que se utiliza en los transformadores eléctricos de Colombia. Por sus componentes, es considerado como uno de los doce contaminantes más peligrosos del planeta (CELSIA, 2018).

- Eliminación total de equipos con bifenilos policlorados (PCB) antes de 2025 según Resolución 222/2011 y 1741/2016.
- Registro obligatorio en el Inventario Nacional de PCB del IDEAM para transformadores con fluidos aislantes líquidos.
- Protocolos para manipulación y disposición de residuos peligrosos bajo estándares del Convenio de Estocolmo.

### Análisis de Impacto Ambiental

En concordancia con los lineamientos del Ministerio de Ambiente y los compromisos derivados del Convenio de Estocolmo, la implementación de una fábrica de

transformadores eléctricos debe contemplar una evaluación detallada de los impactos ambientales potenciales, asociados a sus actividades productivas, logísticas y operativas. Para ello, se elaboró una Matriz de Impacto Ambiental que identifica los principales aspectos ambientales, su impacto potencial y las medidas de mitigación correspondientes.

Esta matriz permite establecer estrategias preventivas y correctivas alineadas con la normatividad vigente, como la Resolución 222 de 2011 y la Resolución 1741 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como con el RETIE y la legislación sobre residuos peligrosos. Su aplicación contribuirá al cumplimiento de los principios de producción más limpia, eficiencia energética y responsabilidad ambiental, fundamentales para garantizar la sostenibilidad de la fábrica.

Tabla 34. Matriz de Impacto Ambiental

<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Impacto Potencial</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Medidas de Mitigación</b>
Uso de aceites dieléctricos (minerales o vegetales)	Contaminación del suelo y cuerpos de agua en caso de fugas o derrames	Alto	Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar sistemas de contención, mantenimiento periódico y monitoreo de fugas; uso de aceites biodegradables.</li> <li>- Plan de contingencia para derrames.</li> <li>- Capacitación y simulacros con el personal.</li> <li>- Revisión periódica de válvulas, mangueras y contenedores.</li> </ul>
Generación de residuos peligrosos (aceites usados, filtros)	Contaminación ambiental y riesgos de salud ocupacional	Alto	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plan de manejo de residuos peligrosos y contratistas certificados.</li> <li>- Registro en el Sistema de Información de Residuos Peligrosos (RESPEL) del IDEAM.</li> <li>- Contenedores etiquetados y áreas de almacenamiento cubiertas y con pisos impermeables.</li> <li>Capacitación al personal sobre manipulación y respuesta ante derrames.</li> </ul>
Generación de residuos	Riesgo ambiental	Muy alto	Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventario y eliminación segura bajo Resoluciones</li> </ul>

<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Impacto Potencial</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Medidas de Mitigación</b>
peligrosos (PCB)	severo por sustancias altamente tóxicas			222/2011 y 1741/2016 y cumplimiento del Convenio de Estocolmo. - Auditoría técnica del inventario. - Contratación de operadores autorizados para disposición final. - Certificados de disposición ambientalmente adecuada.
Emisión de ruidos industriales ( $\geq 85$ dB)	Afectación a la salud de los trabajadores y comunidades cercanas	Medio	Alta	- Instalación de barreras con aislamiento acústico. - Monitoreo de niveles de ruido. - Uso de maquinaria certificada por bajo ruido. - Uso de elementos de protección personal. - Capacitaciones periódicas sobre exposición al ruido. - Rotación de personal en zonas de mayor exposición. - Zonificación interna con medición acústica certificada.
Ruido de pruebas y/o puesta en marcha	Afectación a fauna local	Bajo	Media	-Limitación horaria de actividades de alto ruido. - Pruebas en horario diurnos (8:00 a.m. – 5:00 p.m.). - Uso de silenciadores o encapsulamiento acústico si es posible. - Medición de niveles de presión sonora antes y durante las pruebas, si se localiza en zona rural o periurbana.
Manejo de aguas residuales	Contaminación de fuentes hídricas y	Medio	Media	- Plantas de tratamiento físico-químico internas y monitoreo periódico.

<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Impacto Potencial</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Medidas de Mitigación</b>
con hidrocarburos	alteración de ecosistemas			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de separación de aceites-hidrocarburos (API o CPI).</li> <li>- Controles semanales de DQO, DBO5 y aceites y grasas.</li> <li>- Trampas oleosas en áreas de lavado y mantenimiento.</li> <li>- Capacitación periódica al personal sobre manejo de aguas contaminadas.</li> </ul>
Consumo energético en procesos de producción	Alta huella de carbono y costos operativos elevados	Medio	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de eficiencia energética y uso de fuentes de energías renovables.</li> <li>- Auditorías energéticas regulares (norma ISO 50001).</li> <li>- Instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica para autoconsumo.</li> <li>- Motores de alta eficiencia IE3 o IE4.</li> <li>- Monitoreo inteligente del consumo en tiempo real.</li> <li>- Uso de tecnologías de aislamiento térmico en hornos y áreas de prueba.</li> </ul>
Uso de materiales metálicos y reciclaje de chatarra	Agotamiento de recursos no renovables y generación de residuos sólidos	Medio	Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reciclaje, uso de materiales certificados y sistemas de trazabilidad.</li> <li>- Contratación de proveedores con certificación ISO 14001.</li> <li>- Acuerdos con centros de fundición o cooperativas de recicladores.</li> <li>- Diseño modular de los productos para facilitar el desensamblaje y la recuperación de metales.</li> </ul>

<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Impacto Potencial</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Medidas de Mitigación</b>
				- Capacitación sobre gestión de residuos valorizables.
Emisiones de GLP/gases por calefacción	Aporte a la calidad del aire	Bajo	Baja	- Sistemas eficientes y monitoreo. - Reemplazo gradual por sistemas eléctricos o de inducción térmica. - Instalación de detectores de gases e indicadores de calidad del aire en áreas cerradas. - Mantenimiento preventivo de quemadores para evitar emisiones incompletas.
Construcción de infraestructura en suelo urbano	Alteración visual del entorno, pérdida de vegetación residual o zonas verdes, y modificación del drenaje superficial.	Medio	Media	- Estudio de impacto ambiental y diseño con criterios sostenibles. - Zonas verdes compensatorias, recuperación paisajística y vegetación nativa. - Diseño arquitectónico pasivo y armonización visual con el entorno. - Minimización del área impermeabilizada y recuperación del drenaje natural.
Transporte de materiales e insumos	Aumento en emisiones de CO2 y riesgos de accidentes en carretera	Alto	Alta	- Plan logístico y flota con certificación ambiental (EURO VI o similares). - Capacitación en conducción eficiente (eco-driving) para reducir consumo y emisiones. - Rutas optimizadas para reducir distancias recorridas. Alianzas con operadores certificados en logística limpia o transporte multimodal (cuando sea viable).

Aspecto Ambiental	Impacto Potencial	Magnitud	Probabilidad	Medidas de Mitigación
				- Sistema de seguimiento de emisiones por telemetría.

Cada ítem debe evaluarse en campo con datos reales del sitio, expertos ambientales y estudios complementarios. Esta matriz permite analizar riesgos ambientales, priorizarlos y definir acciones correctivas o de prevención.

#### Sanciones por incumplimiento:

- Multas de hasta 50.000 SMLMV por violación del RETIE.
- Suspensión de operaciones por incumplimientos ambientales o presencia de PCB.

#### 12.4. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

Como industria de transformación y manufactura eléctrica, la fábrica debe cumplir los lineamientos del Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).

- **Sistema de Gestión SST** (Resolución 5018/2019):

Tabla 35. Requisitos de SST

Requerimiento	Acción específica
Capacitación técnica	60 horas/año en riesgos eléctricos
Equipos de protección	Guantes dieléctricos clase 00 ( $\geq 500$ V) y sistemas de detención de caídas
Protocolos de trabajo en tensión	Inspección previa con checklist RETIE

Auditorías trimestrales para verificar:

- Estado de herramientas aislantes (pruebas cada 6 meses).
- Cumplimiento de procedimientos de bloqueo/etiquetado.
- Estatuto tributario.

#### 12.5. CERTIFICACIONES TÉCNICAS Y DE CALIDAD

Para garantizar la calidad y competitividad de la producción, se requiere el cumplimiento de normas internacionales de sistemas de gestión:

- **ISO 9001:2015** – Sistema de Gestión de Calidad.
- **ISO 14001:2015** – Sistema de Gestión Ambiental.
- **Certificación RETIE** – Homologación técnica de modelos de transformadores previo a su comercialización.

## **12.6. RESUMEN DEL ESTATUTO TRIBUTARIO DE COLOMBIA**

El Estatuto Tributario de Colombia es el marco legal principal que regula los impuestos y tributos nacionales, así como los procedimientos fiscales entre los contribuyentes y el Estado. Fue promulgado originalmente mediante el Decreto 624 de 1989 (Departamento Administrativo de la Función Pública, 1989) y ha sido actualizado sistemáticamente con leyes y decretos complementarios.

Estructura General del Estatuto Tributario, está organizado en varios libros y títulos:

- Título preliminar: Define conceptos como la obligación tributaria, NIT, responsables y agentes retenedores.
- Libro I: Impuesto sobre la renta y complementarios – Regula declaraciones de renta, costos, deducciones, rentas exentas, ganancias ocasionales, regímenes especiales y ajustes por inflación.
- Libro II: Retención en la fuente – Establece agentes retenedores, bases y tarifas. Mecanismo clave para recaudo anticipado.
- Libro III: Impuesto sobre las ventas (IVA) – Detalla sujetos, causación, base gravable, tarifas, exenciones y regímenes.
- Libro IV: Impuesto de timbre nacional – Grava documentos, actos y registros, con tarifas específicas.
- Libro V: Procedimiento tributario – Incluye deberes formales, sanciones, cobro coactivo, recursos y actuaciones de la administración.
- Libros VI–VIII: Regulan temas como gravamen financiero (4×1000), régimen simple de tributación (RST), control de filiales extranjeras y otros temas específicos.

### Principales Impuestos y Aportes

- Renta: Empresas gravadas al 33 %; personas naturales con base en UVT.
- IVA: Impuesto al consumo con tarifas y regímenes diferenciados (común y simplificado).
- Retención en la fuente: Mecanismo de recaudo anticipado aplicado en pagos y compras.
- Timbre: Gravamen sobre documentos, contratos y actos jurídicos.
- Gravamen a movimientos financieros (4×1000): Retención sobre transacciones bancarias.
- Régimen Simple (RST): Opcional para PYMEs, simplifica obligaciones fiscales.

- Parafiscales: Aportes obligatorios incluyen salud, pensiones, SENA e ICBF.

#### Procedimientos y Sanciones

El Estatuto regula los deberes formales como declaraciones y facturación electrónica, auditorías, recursos de apelación, cobros coactivos y sanciones por incumplimiento como multas e intereses.

#### Actualizaciones Recientes

Se mantiene vigente bajo el Decreto Único Reglamentario 1625 de 2016 con actualizaciones en 2024. Una próxima reforma tributaria proyectada en 2025 busca aumentar el recaudo en 19 billones COP y revisar exenciones del IVA.

El cumplimiento integral de este marco legal, regulatorio, técnico y ambiental permite a la fábrica operar bajo estándares internacionales de calidad, proteger los intereses de los consumidores, reducir el impacto ambiental y minimizar riesgos legales o comerciales durante su operación.

### **13. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA Y ADMINISTRATIVA**

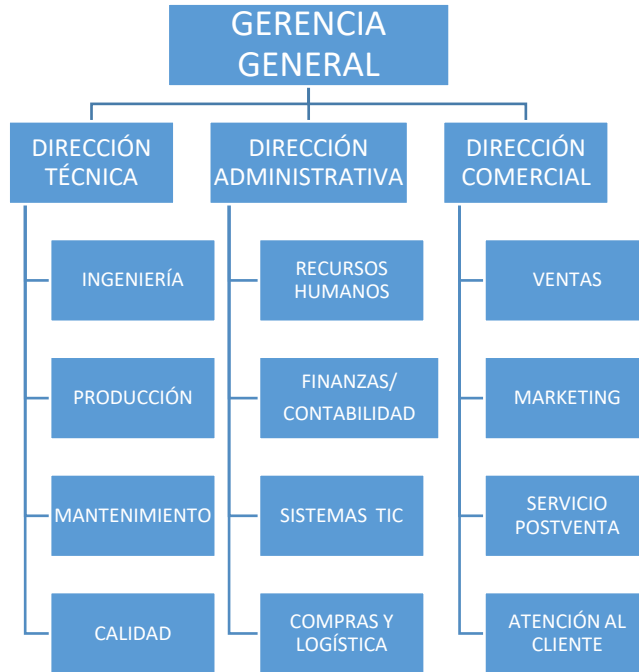
La estructura organizativa y administrativa de una fábrica de transformadores eléctricos es un componente fundamental para garantizar la eficiencia operativa, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad financiera del proyecto. Esta estructura debe estar alineada con los objetivos estratégicos de la organización, facilitar la toma de decisiones, optimizar los recursos humanos y materiales, y asegurar la calidad en todos los procesos de producción.

La implementación de una estructura organizacional clara permite distribuir responsabilidades, establecer jerarquías funcionales y coordinar de forma efectiva las distintas áreas del proyecto, desde ingeniería y manufactura, hasta logística, comercialización y servicios postventa. Asimismo, una administración eficiente contribuye al control de costos, la innovación tecnológica y el cumplimiento de los estándares de calidad, seguridad y medio ambiente.

#### **13.1. MODELO ORGANIZACIONAL**

Se propone una estructura organizacional de tipo funcional, en la cual las actividades se agrupan en departamentos especializados de acuerdo con su función principal. Este modelo es ampliamente utilizado en industrias manufactureras, ya que permite altos niveles de especialización técnica, control operativo y eficiencia en el uso de recursos.

Figura 11. Organigrama Propuesto



### 13.2. ROLES Y FUNCIONES CLAVES

El manual de funciones es una herramienta fundamental para establecer con claridad los roles, responsabilidades, niveles de autoridad y requisitos de cada cargo dentro de la organización. Permite garantizar la eficiencia operativa, evitar duplicidad de tareas, y asegurar el cumplimiento normativo y estratégico de la empresa.

A continuación, se presentan los perfiles funcionales clave:

Tabla 36. Roles y Funciones

CARGO	FUNCIONES PRINCIPALES	SALARIO MENSUAL
Gerente General	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir la estrategia organizacional.</li> <li>- Representar legal e institucionalmente la empresa.</li> <li>- Tomar decisiones sobre inversiones y expansión.</li> </ul>	\$18.000.000
Director Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordinar diseño, producción y control de calidad.</li> <li>- Garantizar cumplimiento de normas RETIE, IEC e IEEE.</li> <li>- Supervisar proyectos técnicos.</li> </ul>	\$13.000.000
Director Administrativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestionar recursos financieros, humanos y logísticos.</li> </ul>	\$12.000.000

<b>CARGO</b>	<b>FUNCIONES PRINCIPALES</b>	<b>SALARIO MENSUAL</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar políticas internas y sistemas ERP.</li> <li>- Liderar procesos de auditoría y control interno.</li> </ul>	
Director Comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formular estrategias de marketing.</li> <li>- Liderar equipos de ventas y atención al cliente.</li> <li>- Analizar mercados y establecer alianzas comerciales.</li> </ul>	\$11.000.000
Jefe de Ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar transformadores según requerimientos técnicos.</li> <li>- Evaluar materiales y tecnologías.</li> <li>- Apoyar certificaciones técnicas.</li> </ul>	\$9.000.000
Jefe de Producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planificar la fabricación.</li> <li>- Coordinar operaciones en planta.</li> <li>- Supervisar cronogramas de entrega.</li> </ul>	\$8.500.000
Jefe de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegurar operatividad de maquinaria y equipos.</li> <li>- Implementar planes preventivos y correctivos.</li> <li>- Gestionar inventarios de repuestos.</li> </ul>	\$8.000.000
Jefe de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar e implementar sistemas de calidad.</li> <li>- Realizar auditorías internas.</li> <li>- Atender procesos de certificación y no conformidades.</li> </ul>	\$8.000.000
Jefe de Finanzas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar presupuestos.</li> <li>- Administrar tesorería y contabilidad.</li> <li>- Presentar informes financieros y tributarios.</li> </ul>	\$8.500.000
Jefe de Recursos Humanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestionar procesos de selección, formación y bienestar.</li> <li>- Velar por el cumplimiento normativo en SST.</li> <li>- Desarrollar clima organizacional.</li> </ul>	\$8.000.000
Supervisor de Línea	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Supervisar operarios en línea de producción y asegurar el cumplimiento de objetivos diarios.</li> </ul>	\$5.000.000
Técnico de Ensamble	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar labores técnicas de ensamblaje mecánico y eléctrico de transformadores.</li> </ul>	\$4.500.000
Técnico de Pruebas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ejecutar pruebas eléctricas y de calidad según especificaciones técnicas.</li> </ul>	\$4.700.000
Auxiliar Administrativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoyar en actividades administrativas, archivo, correspondencia y gestión documental.</li> </ul>	\$3.000.000
Auxiliar Logístico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manejo de inventarios, distribución de materiales y apoyo logístico.</li> </ul>	\$3.200.000
Asistente Contable	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoyo en gestión contable, conciliaciones bancarias y facturación.</li> </ul>	\$3.200.000
Operario de Planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ejecutar tareas de producción, corte, ensamblaje, pintura y embalaje.</li> </ul>	\$2.300.000
Aprendiz SENA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoyo a procesos productivos y administrativos como parte del programa de formación.</li> </ul>	\$1.380.000

### 13.3. PERFILES REQUERIDOS

Tabla 37. Perfiles Laborales

ÁREA	PERFIL PROFESIONAL SUGERIDO
Dirección General	Profesional en Ingeniería, MBA o Maestría en (Icontec, 2015) (ISO, 2018) (Pública, 2008) (ISO, Norma Internacional ISO 14001 - Sistemas de Gestión Ambiental, 2015) (Ambiental, 2024) Dirección de Proyectos
Ingeniería	Ingeniero Electricista o Electromecánico con experiencia en diseño de transformadores
Producción	Tecnólogos o ingenieros industriales con experiencia en manufactura
Calidad	Ingeniero de calidad con certificaciones ISO 9001 y conocimiento en IEC/IEEE
Mantenimiento	Técnico o tecnólogo electromecánico con experiencia en maquinaria industrial
Comercial	Profesional en Mercadeo o Ingeniería con conocimientos en ventas B2B
Logística y Compras	Profesional en Logística o Administración, con manejo de ERP
Talento Humano	Profesional en Psicología Organizacional, Administración o afines
Seguridad y Ambiente	Ingeniero ambiental o de seguridad industrial con experiencia en ISO 14001 y 45001

### 13.4. MAPA ESTRATÉGICO

#### 13.4.1. Misión

Contribuir al fortalecimiento del sistema eléctrico nacional mediante la producción y comercialización de transformadores de potencia y distribución, con altos estándares de calidad, eficiencia energética y sostenibilidad ambiental. La organización se compromete con la excelencia, la innovación tecnológica y la satisfacción del cliente, promoviendo el desarrollo industrial del país.

#### 13.4.2. Visión

Para el año 2035, la fábrica será reconocida como líder en Colombia en la producción de transformadores eléctricos, destacándose por su innovación tecnológica, sostenibilidad, capacidad de respuesta al mercado y aporte a la transición energética. Se posicionará como referente en confiabilidad, eficiencia operativa y calidad en el sector electroindustrial.

### **13.4.3. Políticas Corporativas**

- Calidad: Cumplir rigurosamente con normas nacionales e internacionales (RETIE, IEC, IEEE).
- Sostenibilidad: Optimizar recursos naturales y reducir impactos ambientales y residuos peligrosos.
- Innovación: Fomentar el desarrollo tecnológico y mejora continua.
- Talento humano: Promover seguridad, bienestar y formación continua del personal.
- Responsabilidad social: Mantener relaciones éticas con comunidades, clientes y proveedores.

### **13.5. CONSTITUCIÓN LEGAL**

Se recomienda constituir la fábrica como una Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S.) conforme a la legislación colombiana (Ley 1258 de 2008), ya que ofrece flexibilidad en la estructura de gobierno, responsabilidad limitada y facilidad para atraer inversión.

Aspectos clave de la constitución legal:

- Tipo societario: Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S.), lo cual permite flexibilidad en la estructura de gobierno corporativo y protección patrimonial de los socios.
- Registro: Inscripción ante la Cámara de Comercio correspondiente y obtención del NIT en la DIAN.
- Objeto social: Diseño, fabricación, comercialización y mantenimiento de transformadores eléctricos.
- Capital social: Definido en el acto constitutivo, con posibilidad de aportes en especie (maquinaria, patentes, etc.).

### **13.6. ADMINISTRACIÓN DE LA FÁBRICA**

Para asegurar la eficiencia operativa y la calidad de los procesos, se recomienda implementar los siguientes mecanismos:

- Certificaciones clave:
  - RETIE (Requisito técnico colombiano).
  - ISO 9001:2015 (Gestión de la calidad).
  - ISO 14001:2015 (Gestión ambiental).
  - ISO 45001:2018 (Salud y seguridad y salud en el trabajo).
- Sistemas de información recomendados:
  - ERP (Enterprise Resource Planning) para integrar finanzas, producción, inventarios, ventas y compras.
- Indicadores clave de desempeño (KPIs):
  - Eficiencia de producción (%).

- Tasa de cumplimiento de pedidos.
- Costo unitario promedio.
- Tiempo de ciclo de fabricación.
- Rotación de inventarios.
- Tasa de productos no conformes
- Gobernanza:
  - Comité directivo interfuncional, reuniones mensuales de seguimiento estratégico y operativo.

#### **14. ANÁLISIS DE RIESGOS**

La implementación de una fábrica de transformadores eléctricos en Colombia requiere una evaluación exhaustiva de los riesgos que podrían afectar su viabilidad, sostenibilidad y desempeño operativo. La evaluación de los riesgos es entonces un componente crítico en la etapa de prefactibilidad, donde existen múltiples incertidumbres asociadas al entorno, la operación y el mercado.

El siguiente análisis cualitativo se basa en la identificación, caracterización y priorización de los riesgos, con el fin de establecer medidas preventivas y correctivas que mitiguen su impacto.

En este caso identificamos y evaluamos los riesgos en función de su magnitud e impacto esperado, y su probabilidad de ocurrencia, con base en el conocimiento técnico y la experiencia profesional en el sector eléctrico.

##### **14.1. ESCALA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO**

La estimación cualitativa de cada riesgo utiliza una matriz de probabilidad e impacto, considerando la siguiente escala de evaluación:

Tabla 38. Matriz de Impacto

<b>ESCALA DE MAGNITUD (IMPACTO)</b>	
<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Muy Alto (5)	El riesgo puede afectar gravemente la continuidad del proyecto o causar pérdidas financieras significativas.
Alto (4)	El riesgo tiene impacto relevante en costos, cronograma o cumplimiento normativo.
Medio (3)	El riesgo podría impactar alguna fase, pero es manejable con acciones correctivas.
Bajo (2)	El riesgo tiene impacto leve y es fácilmente controlable.
Muy Bajo (1)	Impacto mínimo o casi nulo en el proyecto.

Tabla 39. Matriz de Probabilidad

ESCALA DE PROBABILIDAD	
Nivel	Descripción
Muy Alto (5)	Casi seguro: Ocurrirán varias veces a lo largo del proyecto.
Alto (4)	Probable: Es muy factible que ocurra.
Medio (3)	Posible: Puede ocurrir en determinadas condiciones.
Bajo (2)	Poco probable: Existe, pero no es común.
Muy Bajo (1)	Rara: Ocurrencia excepcional o casi imposible.

## 14.2. MAPA DE CALOR DE RIESGOS

La siguiente matriz clasifica los riesgos según la combinación de Probabilidad x Magnitud, con un esquema visual tipo semáforo, que resulta muy útil para priorizar las medidas de control:

Tabla 40. Mapa de Calor de Riesgos

Impacto / Probabilidad	Muy Baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)	Muy Alta (5)
Muy Alto (5)	Moderado	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Alto (4)	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Medio (3)	Bajo	Moderado	Moderado	Alto	Muy Alto
Bajo (2)	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Muy Bajo (1)	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado

## 14.3. EVALUACIÓN DETALLADA DE LOS RIESGOS

### A. RIESGOS DEL ENTORNO

Tabla 41. Evaluación de Riesgos del Entorno

Riesgo Identificado	Causa Principal	Magnitud	Probabilidad	Nivel de Riesgo	Estrategias de Mitigación
Inestabilidad económica nacional	Inflación, devaluación, tasas de interés elevadas	Alto (4)	Media (3)	Alto	Estrategias de cobertura cambiaria, diversificación de cartera de clientes y ajuste de precios
Cambios en la regulación eléctrica o ambiental	Nuevas exigencias técnicas (RETIE, ISO, IEC) o fiscales (impuestos verdes)	Medio (3)	Alta (4)	Alto	Monitoreo normativo permanente, actualización tecnológica y cumplimiento regulatorio
Riesgos climáticos y	Fenómenos naturales	Muy Alto (5)	Baja (2)	Alto	Plan de continuidad del negocio (BCP),

Riesgo Identificado	Causa Principal	Magnitud	Probabilidad	Nivel de Riesgo	Estrategias de Mitigación
eventos extremos	(inundaciones, sismos)				seguros industriales y logística resiliente
Riesgos geopolíticos internacionales	Tensión comercial, restricciones a importaciones	Alto (4)	Media (3)	Alto	Proveedores alternativos locales/regionales, compras anticipadas de inventario

## B. RIESGOS OPERACIONALES

Tabla 42. Evaluación de Riesgos Operacionales

Riesgo Identificado	Causa Principal	Magnitud	Probabilidad	Nivel de Riesgo	Estrategias de Mitigación
Falla en maquinaria	Deficiencias de mantenimiento o defectos técnicos	Muy Alto (5)	Media (3)	Muy Alto	Mantenimiento preventivo y predictivo, contratos de soporte técnico, inventario de repuestos
Accidentes laborales	Exposición a ruido, aceites dieléctricos, manipulación de cargas	Muy Alto (5)	Alta (4)	Muy Alto	Implementación del SGSST, formación en seguridad, EPP certificados
Contaminación ambiental por residuos peligrosos	Manejo inadecuado de aceites PCB	Muy Alto (5)	Media (3)	Muy Alto	Plan de gestión ambiental, uso de aceites biodegradables, disposición técnica certificada
Falta de personal calificado	Escasez de talento técnico calificado	Medio (3)	Alta (4)	Alto	Convenciones con SENA y universidades, formación dual, retención del talento clave

## C. RIESGOS DEL MERCADO

Tabla 43. Riesgo del Mercado

Riesgo Identificado	Causa Principal	Magnitud	Probabilidad	Nivel de Riesgo	Estrategias de Mitigación
Disminución de la demanda	Cambios en la inversión estatal o privada en infraestructura	Alto (4)	Media (3)	Alto	Diversificación de clientes (industria, renovables), contratos marco con agentes del sector
Competencia extranjera	Proveedores de bajo costo con economías de escala	Muy Alto (5)	Alta (4)	Muy Alto	Estrategia de diferenciación basada en calidad, soporte técnico y sostenibilidad
Volatilidad de precios de materias primas	Fluctuaciones del cobre, acero y transporte	Alto (4)	Alta (4)	Muy Alto	Contratos de largo plazo, gestión de inventarios, proveedores diversificados
Cambios tecnológicos	Demandas por “smart Transformers”, IoT, sensórica	Medio (3)	Media (3)	Moderado	Inversión en I+D, alianzas con centros tecnológicos y universidades

La matriz de riesgos nos muestra que más del 50% de los factores identificados se ubican en zonas de alto o muy alto nivel de riesgo, lo cual subraya la necesidad de establecer un plan estructurado de gestión de riesgos desde etapas tempranas del proyecto. Se recomienda priorizar estos riesgos en la toma de decisiones estratégicas y realizar seguimiento continuo a través de indicadores de control y revisión periódica.

## 15. CONCLUSIONES

- El análisis PESTEL evidenció que la transición energética, el impulso a las energías renovables y los programas estatales de infraestructura energética son factores impulsores clave en el sector eléctrico.
- La Matriz DOFA identificó fortalezas como la capacidad técnica local e incentivos estatales, pero también amenazas como la competencia internacional y las barreras regulatorias.
- La demanda de transformadores eléctricos en Colombia está impulsada por proyectos de expansión y mantenimiento de redes eléctricas, con especial énfasis en la electrificación rural, industria, minería, construcción, proyectos de expansión y la integración de fuentes no convencionales de energía renovable.
- La oferta actual está compuesta por empresas nacionales e importaciones desde países como China, India y México, lo que genera alta competencia en precios.
- Los resultados de las encuestas realizadas a expertos del sector eléctrico nos llevan a identificar oportunidades de diferenciación mediante la calidad, el cumplimiento normativo (RETIE, IEC), y servicios postventa.
- Se definió una estructura administrativa y organizativa funcional y eficiente, con claridad en los perfiles, funciones y estimación salarial; además de los requerimientos tecnológicos, de infraestructura, maquinaria y personal calificado, necesarios para la implementación futura de la fábrica.
- El diseño técnico incluye una línea de producción orientada a transformadores de distribución y de potencia, con estándares de calidad internacionales (IEC, IEEE).
- Los principales riesgos encontrados en el análisis se relacionan con factores macroeconómicos, accidentes laborales, gestión ambiental y competencia nacional e internacional, los cuales se mapean en impacto y magnitud, de manera que permiten desarrollar adecuadas estrategias de mitigación.
- La localización del proyecto en la ciudad de Medellín es bastante acertada por su ubicación estratégica a los puertos y la distancia a los principales centros de venta del producto.
- El análisis financiero integral realizado permite concluir que el proyecto demuestra una sólida rentabilidad y viabilidad económica desde las perspectivas, tanto del inversionista, como del proyecto en sí. Los indicadores clave revelan una capacidad del negocio para generar retornos superiores al costo de oportunidad del capital, lo que sugiere eficiencia en el uso de los recursos financieros. Además, se observa una adecuada recuperación de la inversión en un plazo razonable, lo que disminuye el riesgo asociado al largo plazo. La relación entre los beneficios proyectados y los costos incurridos indica un balance favorable, y los flujos de caja presentan un comportamiento estable y creciente, en línea con las

proyecciones de producción y ventas. Estos resultados respaldan la recomendación de ejecutar el proyecto, ya que cumple con los criterios fundamentales de rentabilidad, sostenibilidad y creación de valor económico.

## 16. REFERENCIAS

ABB Ltd. (2021). *Sustainability Report 2021*. ABB Ltd.

Banco Mundial. (2017). *Project Appraisal Document Guidelines*. Banco Mundial.

BID. (2008). *Manual de Preparación y Evaluación de Proyectos*. BID.

Castillo, E. (2025, septiembre 9). Entrevista por John Gallego [Entrevista personal].

CELSIA. (2018, August 1). *¿Estás al día con la reglamentación del PCB? En Celsia te ayudamos a cumplirla*. <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/estas-al-dia-con-la-reglamentacion-del-pcb-en-celsia-te-ayudamos-a-cumplirla/>

Chapman, S. J. (2012). *Electrical Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill.

Chen, X., Chen, Y., Liu, Q., Xu, J., Liu, Q., Li, W., Zhang, Y., Wan, Z., & Wang, X. (2021). Performance study on a stepped flow field design for bipolar plate in PEMFC. *Energy Reports*, 7, 336–347. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.003>

CIDET. (2024). *Transformadores de Potencia: Tecnologías y Mercados en Colombia*. CIDET.

DANE. (2025). *Boletín técnico Indicador de Seguimiento a la Economía (ISE) Marzo de 2025 pr Gráfico 1. Tasa de crecimiento anual del índice del Indicador de Seguimiento a la Economía (ISE) Serie original y serie ajustada por efecto estacional y calendario 2023 p-2025 pr (marzo)*. DANE.

Departamento Administrativo de la Función Pública. (1989). *Decreto Ley 624 de 1989*. Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

DNP. (2023). *Metodología General Ajustada para la Formulación de Proyectos de Inversión Pública en Colombia*. DNP.

Forbes Colombia. (2025, March 27). *Por qué el mayor productor de transformadores del mundo está detrás de millonarias inversiones en Colombia*.

<https://forbes.co/2025/03/27/editors-picks/las-millonarias-inversiones-de-hitachi-energy-ante-la-creciente-demanda>

Franco, M. A., & Montoya, L. M. (2012). *Aplicación de la Metodología ONUDI para Proyectos de Crecimiento Orgánico en Grupo EMI*. [Trabajo de grado, Universidad EAFIT].

García, A., & Tobar, J. (2007). *Estudios de Aplicabilidad de la metodología ONUDI en construcción del sector inmobiliario en Medellín*. [Trabajo de grado, Universidad EAFIT].

GTZ. (2013). *Z O P P Planificación de Proyectos Orientada a Objetivos*. GTZ.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., María del Pilar Baptista Lucio, D., & Méndez Valencia Christian Paulina Mendoza Torres, S. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.

Hughes, T. P. (1993). *Networks of Power. Electrification in Western Society 1880-1930*. The Johns Hopkins University Press.

IEC 60076. (2011). *Power transformers - General*. IEC.

IEEE. (2015). *IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers (IEEE std.C57.12.00-2015)*.  
<https://www.jiezouppower.com/uploads/IEEEstdC57.12.00-2015.pdf>

IEEE Spectrum. (2023). *The future of smart transformers*.  
<https://spectrum.ieee.org/transformer-shortage>.

Kerzner, H. (2017). *Project Management - A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons.

London Metal Exchange. (2023). *Historial Precios Cobre y Acero*. Bloomberg. LME.

Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas-RETIE. Libro 3. Instalaciones Objeto de RETIE*. Ministerio de Minas y Energía.

- Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas-RETIE. Libro 2. Productos objeto de RETIE*. Ministerio de Minas y Energía.
- Ministerio de Minas y Energía. (2025). *Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa de Colombia*. Ministerio de Minas y Energía.
- Mordor Intelligence. (2024, April 3). *Análisis del tamaño y la participación del mercado de transformadores en América Latina crecimiento, tendencias y pronósticos (2024 - 2029)*. Mercado de Transformadores de América Latina. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/latin-america-transformer-market>
- ONUDI. (2004). *Manual para la Evaluación de Proyectos*. [https://downloads.unido.org/ot/47/88/4788157/00001-10000\\_09985S.pdf](https://downloads.unido.org/ot/47/88/4788157/00001-10000_09985S.pdf)
- Ortegon, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2005). *Metodología del Marco Lógico para la Planificación, el Seguimiento y la Evaluación de Proyectos y Programas*. [www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)
- Pansini, A. J. (2007). *Electrical Distribution Engineering*, (3rd ed.). River Publishers.
- Pérez Londoño, S. M., & López Quintero, J. G. (2018). *Transformadores Eléctricos*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- PMI. (2021). *El Estándar para la Dirección de Proyectos y Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*. Project Management Institute, Inc.
- PROCOLOMBIA. (2023, May 1). *La fábrica de transformadores eléctricos que exporta a más de 30 países desde Pereira*. <https://procolombia.co/sala-de-prensa/noticias/la-fabrica-de-transformadores-electricos-que-exporta-mas-de-30-paises-desde-pereira>

- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag P, J. M. (2014). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. McGraw-Hill.
- TECSA. (2019). *¿Qué es un transformador eléctrico y cómo funciona?*  
<https://www.tecsagro.com.mx/blog/que-es-un-transformador-electrico/>
- UPME. (2019). *Plan Energético Nacional 2020 - 2050 - Documento de Consulta*.  
<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx>
- UPME. (2024). *Actualización Plan Energético Nacional (PEN) 2022 - 2052*.  
<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx>
- XM. (2022). *Reporte integral de sostenibilidad operación y mercado 2022*. XM.

## 17. ANEXO A

### Encuesta dirigida a Empresas del Sector Eléctrico

Objetivo: Identificar la demanda actual, frecuencia de compra, proveedores, especificaciones técnicas requeridas, canales de distribución, tiempos de entrega y nivel de satisfacción con los productos existentes.

#### Datos Generales

Nombre de la empresa: \_\_\_\_\_

1. ¿Qué tipo de empresa representa?:

- Comercializadora
- Generador de energía
- Transportador de energía
- Distribuidor de energía
- Empresa de servicios públicos
- Construcción e infraestructura
- Industria manufacturera
- Otro (especifique): \_\_\_\_\_

2. ¿Cuál es el tamaño de la empresa, considerando el número de empleados?

- Entre (1-10) empleados
- Entre (11-50) empleados
- Entre (51-200) empleados
- Más de 200 empleados

3. ¿Qué tipo de transformadores eléctricos adquiere con mayor frecuencia?

- Transformadores de distribución monofásicos
- Transformadores de distribución trifásicos
- Transformadores secos clase F
- Transformadores secos clase H
- Transformadores en aceite

- Transformadores de pedestal
  - Transformadores tipo poste
  - Transformadores baja/baja
  - Transformadores de potencia
  - Otros (especifique): \_\_\_\_\_
4. ¿Con qué frecuencia adquiere transformadores eléctricos?
- Mensualmente
  - Trimestralmente
  - Semestralmente
  - Anualmente
  - Otra (especifique): \_\_\_\_\_
5. ¿Cuántas unidades en promedio, adquiere su empresa anualmente?
- 1 a 5 unidades
  - 6 a 10 unidades
  - 11 a 20 unidades
  - Más de 20 unidades
  - Otras (especifique): \_\_\_\_\_
6. ¿Cuál es el rango típico de potencia (kVA) más frecuente en sus adquisiciones?
- Menos de 100 kVA
  - Entre 100 y 300 kVA
  - Entre 300 y 500 kVA
  - Entre 500 y 1.000 kVA
  - Mas de 1.000 kVA
7. ¿Qué características valora más en un transformador? (selecciones las tres más importantes)
- Precio competitivo
  - Tiempo de entrega
  - Eficiencia energética
  - Marca reconocida
  - Cumplimiento de normas (RETIE, NTC, IEC, IEEE)
  - Servicio postventa

- Calidad
  - Financiación
  - Otra (especifique): \_\_\_\_\_
8. ¿Con qué proveedores adquiere usualmente transformadores eléctricos?
- Tesla
  - Magnetron
  - Weg
  - Siemens
  - ABB
  - Rymel
  - Otras (especifique): \_\_\_\_\_
9. ¿Está satisfecho con el tiempo de entrega y atención al cliente de los actuales proveedores?
- Sí
  - No
  - Parcialmente
  - Comentarios adicionales: \_\_\_\_\_
10. ¿Qué dificultades ha encontrado en el proceso de selección de los proveedores? (Seleccione hasta tres)
- Largos tiempos de entrega
  - Poca disponibilidad de modelos o potencias requeridas
  - Alto costo de importación
  - Especificaciones técnicas no compatibles
  - Limitadas opciones de proveedores locales
  - Otra (especifique): \_\_\_\_\_
11. ¿Estaría dispuesto a adquirir transformadores producidos por un nuevo fabricante nacional que cumpla con las normativas y estándares internacionales?
- Sí, sin duda
  - Dependería del precio/calidad/servicio
  - No, prefiero marcas ya consolidadas

En los siguientes links encuentra los formularios con las preguntas formuladas y sus respuestas.

[Encuesta Empresas Sector Eléctrico](#)

[Respuesta Encuesta Empresas Sector Eléctrico](#)

## 18. ANEXO B

### Entrevista a Expertos del Sector

Objetivo: Recoger opiniones cualitativas sobre el entorno, tecnología, normatividad y tendencias del mercado de transformadores eléctricos en Colombia.

#### Datos Generales

- Nombre del experto: \_\_\_\_\_
- Empresa/Institución: \_\_\_\_\_
- Cargo: \_\_\_\_\_

#### Preguntas:

1. ¿Cómo percibe el comportamiento actual del mercado colombiano de transformadores eléctricos?
2. ¿Cuáles considera que son las principales barreras de entrada para un nuevo fabricante nacional?
3. ¿Qué innovaciones tecnológicas considera que serán determinantes en los próximos años en el sector?
4. ¿Qué papel juega la normativa (RETIE, IEC, IEEE) en la decisión de compra de transformadores?
5. ¿Qué oportunidades ve en la producción nacional frente a las importaciones?
6. ¿Cuál cree que es el nivel de competitividad de la industria nacional de transformadores frente a fabricantes internacionales?
7. ¿Qué recomendaciones daría para el éxito de una nueva fábrica de transformadores eléctricos en Colombia?
8. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta la industria de transformadores en Colombia?

9. ¿Qué tecnologías de producción son las más utilizadas actualmente?

10. ¿Cuáles son los factores que afectan los tiempos de entrega en la industria?

## **19. ANEXO C**

### **Análisis de Evaluación Financiera**

Se presentan en este todas las consideraciones financieras asociadas a la estructuración del Estudio Financiero del proyecto.