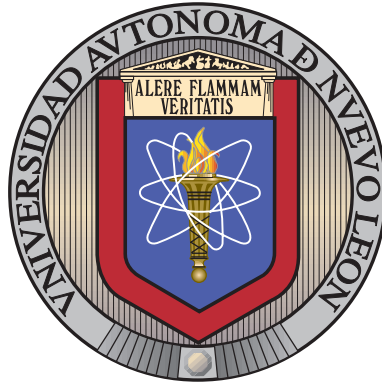


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



POLÍTICAS Y MODELOS DE INVENTARIOS DE
INSUMOS PARA EL DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

POR

ANDRÉS PALENCIA HERNÁNDEZ

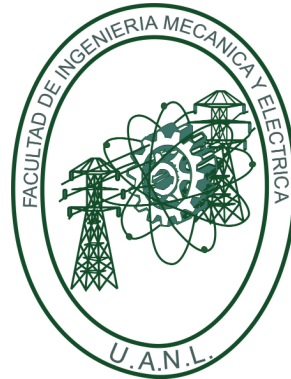
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

AGOSTO DEL 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



POLÍTICAS Y MODELOS DE INVENTARIOS DE
INSUMOS PARA EL DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

POR

ANDRÉS PALENCIA HERNÁNDEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

AGOSTO DEL 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Posgrado

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis “Políticas y modelos de inventarios de insumos para el desarrollo y mantenimiento en la industria eléctrica”, realizada por el estudiante Andrés Palencia Hernández, con número de matrícula 2127027, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Evaluación de Tesis

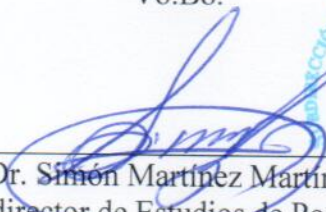
Dr. Miguel Mata Pérez
Director

Dr. Rodolfo Garza Morales
Revisor

Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa
Revisor

Mtro. Manuel Farías Martínez
Revisor

Vo.Bo.


Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado



Institución 190001

Programa 642597

Acta Núm. 4247

Ciudad Universitaria, a 25 de septiembre del 2023

ÍNDICE GENERAL

Resumen	x
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Objetivo	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Justificación	4
1.5. Metodología	5
1.6. Estructura de la tesis	6
2. Antecedentes	7
2.1. Importancia de la electricidad en América Latina	7
2.2. Sistema eléctrico: generación y distribución	9
2.3. Confiabilidad de la energía eléctrica	10
2.4. Caso de estudio	10
2.5. Prácticas de mantenimiento	11

2.6. Gestión del inventario	12
2.6.1. Políticas de inventarios	12
2.6.2. Herramientas de criticidad para la administración de inventarios	17
2.7. Insumos para el desarrollo y mantenimiento	20
2.8. Conclusiones del capítulo	23
3. Metodología	24
3.1. Etapa 1: diagnóstico	25
3.1.1. Recolección de datos	25
3.1.2. Creación de base de datos con la información de la empresa .	26
3.1.3. Análisis de datos, demanda y oferta	27
3.1.4. Identificar patrones, demanda y oferta	27
3.1.5. Herramienta de análisis de diagnóstico	28
3.2. Etapa 2: administración	31
3.2.1. Clasificación CTR	31
3.2.2. Definición de criterios	32
3.2.3. Modelo de criticidad total por riesgo	34
3.3. Etapa 3: Control	34
3.3.1. Política de inventarios	35
4. Resultados	37
4.1. Experimentación	38

4.1.1. Entrada de datos	38
4.1.2. Coeficiente de variación en precio y demanda	42
4.1.3. Índice de calidad del inventario	43
4.1.4. Valores del índice de calidad del inventario aplicados por centros de distribución, productos y familias de productos	51
5. Conclusiones	54
5.1. Contribuciones	54
5.2. Recomendaciones a futuro	56

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Proceso de la red eléctrica	3
2.1. PIB 2020	8
2.2. Modelo determinístico	14
2.3. Modelo Estocástico	15
3.1. Metodología	24
3.2. Muestra de base de datos de productos	27
3.3. Diagrama del IQR	29
3.4. Matriz CTR	35
4.1. Gráfico de materiales	40
4.2. Gráfico de centros de distribución	41
4.3. Diagrama de la demanda	44
4.4. Distribución del IQR en escenario uno y dos	48
4.5. Gráfico comparativo del IQR	49
4.6. Gráfico del ahorro del IQR	50

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Parámetros del sistema de la generación y distribución eléctrica (Elaboración propia).	11
3.1. Frecuencia de falla	33
3.2. Factor de impacto operacional	33
3.3. Factor de impacto por flexibilidad operacional	33
3.4. Factor de impacto en costos de mantenimiento	33
3.5. Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente	34
4.1. Materiales categorizados de acuerdo a la clasificación ABC.	39
4.2. Centros de distribución categorizados de acuerdo a la clasificación ABC.	39
4.3. Tabla de resultados de materiales	40
4.4. Tabla de resultados de centros de distribución	40
4.5. Hallazgos de materiales	41
4.6. Hallazgos de centros de distribución	42
4.7. Saldo del inventario	45
4.8. Inventario total	46

4.9. Ahorro del IQR	50
4.10. IQR general escenario actual	51
4.11. IQR general escenario propuesto	52
4.12. IQR desglosado escenario actual	52
4.13. IQR desglosado escenario propuesto	53

RESUMEN

Andrés Palencia Hernández.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: POLÍTICAS Y MODELOS DE INVENTARIOS DE INSUMOS PARA EL
DESARROLLO Y MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA.

Número de páginas: 60.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: El objetivo de esta investigación es optimizar la disponibilidad de los insumos de mantenimiento con un nivel de servicio meta al menor costo posible para el caso de estudio. La metodología utilizada esta basada en tres etapas en donde se utiliza de manera conjunta dos herramientas, una de carácter cualitativo que es la herramienta de criticidad total por riesgo y otra de manera cuantitativa que es el índice de calidad del inventario.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: La utilización conjunta de las herramientas utilizadas para la presente investigación, mostraron resultados positivos de acuerdo a las características que presentó el caso de estudio. La propuesta de la calidad del índice del inventario se incremento al 82% con un ahorro del 1%. Se determinó para la empresa caso de estudio, cuáles son los productos activos, medios, en exceso, productos de lento movimiento y productos nulos.

Firma del asesor: _____


Dr. Miguel Mata Pérez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro de los insumos de la industria de generación y distribución de energía eléctrica enfrenta retos muy particulares dada la alta dependencia que la forma de vida actual en la sociedad tiene en la energía eléctrica.

En México, según datos de la secretaría de energía, en el 2018 el 98.62% de la población contaba con servicio de energía eléctrica y el consumo de energía eléctrica en el año fue de 317,278 GWh (SENER, 2020).

El consumo de insumos operativos de la industria de la energía eléctrica es determinado por dos procesos principales: generación de la energía y distribución de la energía. Cada uno de los procesos señalados consumen insumos con características claramente diferenciadas.

- **Generación de la energía eléctrica:** Dentro de los tipos de consumo que se identifican en el proceso de la generación se encuentra el consumo de insumos estable a lo largo del tiempo y en ubicaciones concretas: plantas generadoras y el consumo programado de acuerdo a los planes operativos de mantenimiento y desarrollo.
- **Distribución de la energía eléctrica:** En el proceso de distribución de la red eléctrica, el tipo de consumo puede ser volátil en espacio y tiempo, es decir,

el requerimiento de insumos puede darse en cualquier lugar a lo largo de la red de distribución eléctrica que se extiende en una amplia geografía, causada por eventos aleatorios como el clima, incidentes de tráfico y eventualidades varias. Otro tipo de consumo que se identifica en este proceso es el consumo programado por desarrollo de nuevos proyectos (aunque puede ser no programado), enfrenta la incertidumbre de la industria de construcción y las condiciones económicas de la región en que ocurre.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El presente proyecto resuelve una problemática de una empresa que tiene la concesión de la generación y distribución de energía eléctrica en un país de Sudamérica. La empresa caso de estudio presenta una serie de fallas al requerir insumos en los procesos de mantenimiento y no contar con el suministro disponible en el momento oportuno.

El proceso de la generación y la distribución de la electricidad en la red eléctrica se desarrolla de la siguiente manera: la distribución está presente en dos momentos: cuando va de la generación a la subestación es de alta tensión y de la subestación al usuario final es distribución de baja tensión. Para mantener la red adecuadamente se requiere asegurar la disponibilidad de insumos de manera oportuna y eficiente (figura 1.1).

Para hacer algún tipo de mantenimiento, ya sea correctivo o preventivo, es necesario tener las partes requeridas en el momento preciso, ya que de no ser así no se puede llevar a cabo, por falta de algún tipo de cable, tornillo, poste, transformadores, etc. Debido a esto se presentan problemáticas, especialmente al hacer mantenimientos correctivos, ya que cuando falta alguna parte suelen tomar la de algún mantenimiento planeado, ocasionando desabasto futuro y, por lo tanto, riesgos de fallas en la red eléctrica.

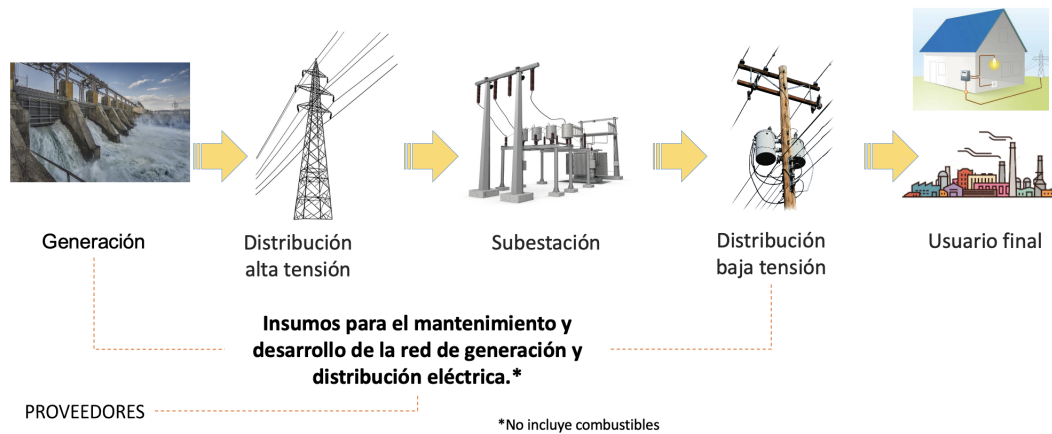


FIGURA 1.1: Representación del proceso de la generación y distribución en la industria eléctrica.

Dentro de la sintomatología que se tiene registro del caso de estudio se encuentra el exceso de inventario. Adicionalmente, existe un exceso de manejo del producto por no tenerlo en la ubicación requerida. Otro de los puntos a mencionar es que la empresa del caso de estudio cuenta con un sistema de inventarios tecnológico ineficiente para atender el inventario.

1.2 OBJETIVO

Optimizar la disponibilidad de insumos para el mantenimiento y desarrollo de la red eléctrica, con un nivel de servicio meta a la menor inversión posible en una empresa generadora y distribuidora de energía eléctrica.

Para la industria de la generación y distribución de energía eléctrica, cuando nos referimos a disponibilidad, debe de ser oportuna en términos de garantizar la continuidad de la operación de generación, tener una respuesta ágil para atender incidentes de mantenimiento correctivo en las redes de distribución y dar confiabilidad al sistema eléctrico. Respecto a la eficiencia en términos de disponibilidad, se manifiesta por el inventario de insumos que se tiene para hacerse cargo de las opera-

ciones de la industria y asegurar la disponibilidad con la menor cantidad de capital de trabajo (inventario e instalaciones).

1.3 HIPÓTESIS

La formulación de políticas adecuadas y la administración eficiente de inventarios permitirá alcanzar un nivel de inventarios que aporte seguridad en el suministro de los insumos de mantenimiento y el desarrollo de la red eléctrica al menor costo.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El proyecto es relevante para el caso de estudio debido a que la empresa ubicada en un país de Sudamérica tiene la concesión de la industria de la generación y distribución de energía eléctrica y debe cumplir con estándares competitivos para continuar con el suministro de energía eléctrica.

De acuerdo a la ley de la nación, se describe una serie de incisos como objetivos a cumplir respecto a la operación, que la red sea confiable y que el suministro de energía eléctrica sea suficiente para los usuarios.

El incurrir en paros de línea en energía eléctrica trae severos problemas monetarios, que representan cifras en millones de pesos debido a que se suministra energía no solo al sector doméstico, sino también al sector industrial, por ende al no contar con energía eléctrica las empresas industriales no pueden desempeñar sus actividades ordinariamente y también pueden sufrir pérdidas monetarias, legalmente también representaría un problema en el suministro de energía eléctrica, ya que afectar a otra industria generaría pérdidas debido al paro de operaciones por falta de energía eléctrica.

El modelo que se propone se espera contribuya significativamente en mejorar

la confiabilidad de la red eléctrica de la región y, por lo tanto, en asegurar la calidad de vida de los habitantes y mejorar la competitividad de la región.

Contar con sistemas de inventario correctos nos ayuda a tener un mayor control sobre la planificación en tiempo y costo en el proceso de abastecimiento y detectar materiales con poca rotación (Laveriano, 2010).

Hay un consenso en la importancia del control de inventarios como un escenario que aporta confiabilidad a la organización, de tal manera que permite tener una mejor planificación de la producción y mayor estabilidad en el suministro (Ortega *et al.*, 2017).

1.5 METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se presentará en tres etapas.

La primera etapa será la de diagnóstico, que tiene como primer paso, hacer una revisión sistemática de literatura de modelos de inventarios, en segundo lugar, la creación de la base de datos con la información proporcionada por el caso de estudio, el tercer paso, se analizarán los datos históricos disponibles de la oferta y demanda de insumos, posteriormente, se identificarán patrones de la oferta y demanda, como cuarto paso, se desarrollará la propuesta de la herramienta para hacer el análisis del diagnóstico y para finalizar esta etapa se evaluará el inventario.

La segunda etapa consiste en la administración del inventario, en esta etapa como primer paso se propondrá un modelo para categorizar los productos, en segundo lugar, se definirán los criterios del modelo seleccionado y posteriormente se categorizarán los productos.

Finalmente, en la etapa de control, en primer lugar se hará una revisión de literatura, en segundo lugar, se definirá la política seleccionada para el caso de estudio, cada categoría de productos podría tener su política de inventario y finalmente

se explicará el uso para cada categoría de productos.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está estructurada por capítulos. El capítulo uno es la introducción en donde se aborda el tema de la cadena de suministro de los insumos de la industria de generación y distribución de energía eléctrica, así como también de la industria en la que se desarrolla el proyecto, la empresa en la que se vincula este caso de estudio y se define la problemática y el objetivo. El capítulo dos desarrolla los antecedentes del proyecto, para entrar en contexto se definen algunos conceptos y se analizan casos similares de estudio. El capítulo tres corresponde a la metodología, en donde se profundiza en el desarrollo de la tesis. En el capítulo cuatro, análisis y resultados, se presenta los resultados obtenidos. Finalmente, en el capítulo cinco, conclusiones, se exponen las resoluciones a las que se llegaron.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 IMPORTANCIA DE LA ELECTRICIDAD EN AMÉRICA LATINA

La energía eléctrica es una necesidad básica que cotidianamente el ser humano adquiere como servicio. Su consumo resulta tan natural que solo se percibe cuando esta falta, tal como sucede con el agua o la salud. En la actualidad, éste servicio es considerando un pilar básico para el crecimiento económico, ya que mediante este puede dar sustento a diferentes actividades sin demeritar el confort que puede generar a la sociedad (ver figura 2.1).

De acuerdo al sistema de energía eléctrica de América Latina y el Caribe, el consumo de la energía eléctrica en el año 2019 en la región mesoamericana para el sector doméstico fue de 31.1%, para el sector industrial fue del 45.28%. Esto es importante, ya que la competitividad del país se genera a través de estas industrias y el costo de la electricidad tiene una repercusión directa en los productos y servicios ofertados. El porcentaje restante se usa en otros sectores económicos (Castillo *et al.*, 2021).

Los índices del comportamiento de la red eléctrica nos dan información y nos

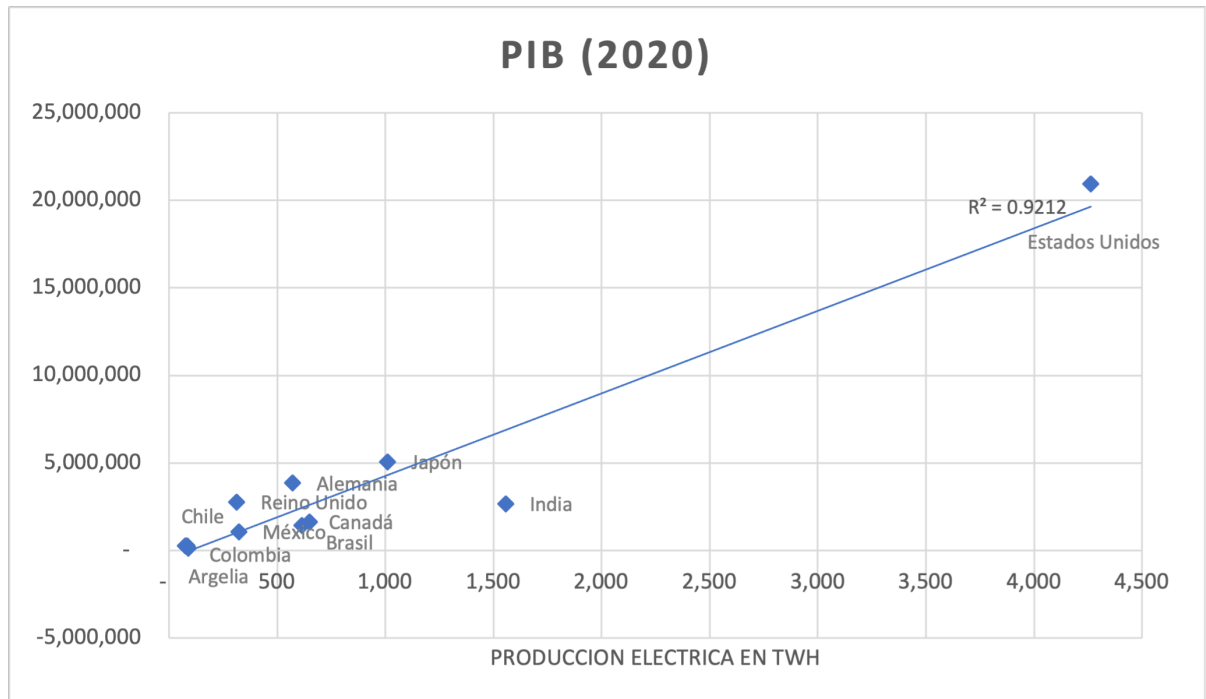


FIGURA 2.1: Producción económica de los países y su correlación con la energía eléctrica.

permiten evaluar la confiabilidad de esta. La red eléctrica debe tener indicadores y subindicadores. Por una parte, los indicadores nos indican el desempeño de la red eléctrica como un todo y los subindicadores nos indican el comportamiento de los componentes de la red, a través de estos índices medimos el correcto suministro que tiene la red eléctrica. La calidad se mide de acuerdo a dos parámetros principales globales: el primero esta dado por los eventos de falla o interrupciones que se tienen en la red y el segundo es el tiempo de duración (Baeza *et al.*, 2003).

En América Latina en promedio se considera que gozamos de un servicio con menores interrupciones al mes comparado con el sur de Asia. Cuando hay interrupciones la duración es un indicador importante, en países Europeos y de Asia central muestran un tiempo de interrupción de una hora y doce minutos, para la región de África subsahariana la duración es más prolongada (Levy y Carrasco, 2020).

La dependencia mundial del servicio de energía eléctrica es indiscutible para la

sociedad entera. En la actualidad, el ser humano se ha acostumbrado a utilizar los beneficios del avance tecnológico que ha tenido la humanidad y que se usan gracias a la electricidad, y son utilizados en diferentes áreas como sería el sector salud, el sector industrial, el confort de las viviendas, entretenimiento, etc. Los avances de la energía eléctrica son un beneficio globalizado que representa la calidad de vida del ser humano y dispone de valor en los sectores tanto industrial como social, como la atención médica, la calefacción y la movilidad, su grado de importancia cada vez es mayor (del Rivero, 2011).

2.2 SISTEMA ELÉCTRICO: GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

El sistema eléctrico está conformado por dos subsistemas que trabajan en paralelo. Por un lado, la generación eléctrica y por otro lado, el subsistema de distribución. Cada uno de ellos presenta diferentes características. Para alcanzar la confiabilidad del suministro en la industria eléctrica se requiere dos subsistemas que trabajen en paralelo: la generación y la distribución.

La generación eléctrica se caracteriza por contar con una estructura centralizada, unas cuantas plantas de gran capacidad cuya operación debe ser confiable con requerimientos de mantenimiento estables, predecibles y programables.

Por otro lado, el subsistema de distribución se caracteriza por ser extenso con una gran capilaridad y que, por lo mismo, está sujeto a múltiples factores que afectan la continuidad de operación. La demanda de suministro para la operación del subsistema de distribución se afecta por múltiples factores climáticos como pueden ser tormentas, huracanes, inundaciones, etc. De esta manera, la demanda de recursos para su desarrollo y mantenimiento del subsistema de distribución presenta un comportamiento completamente diferente, ya que responde a muchos eventos externos.

2.3 CONFIABILIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La confiabilidad de la red de suministro se determina en términos de las perturbaciones que inciden en esta, la confiabilidad se debe medir en términos cuantitativos, típicamente los indicadores son la frecuencia, duración y extensión de las fallas, que se manifiestan por faltas de disponibilidad del fluido en la red eléctrica. Los sistemas de generación y distribución, tienen parámetros operativos para atender el volumen en la demanda en terawatt-hora (TWh) (ver tabla 2.1).

2.4 CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio se desarrolla en una una empresa de un país de Sudamérica que tiene la concesión de la generación y distribución eléctrica, para una región que abarca más de dos millones de hogares.

La empresa concesionada tiene interés en atender factores internos que le producen fallas en su servicio, específicamente la falta de oportunidad en contar con refacciones y componentes que se requieren para el mantenimiento, ya sea correctivo o preventivo de la red, así como para su expansión.

La empresa del caso de estudio cuenta con 20 plantas de generación hidráulicas y térmicas y 200 subestaciones de distribución y, como se mencionó llega a más de dos millones de hogares.

El suministro de insumos en el caso de estudio está comprendido operacionalmente por proyectos de crecimiento y de mantenimiento, tanto en el subsistema de generación como en el de distribución.

TABLA 2.1: Parámetros del sistema de la generación y distribución eléctrica (Elaboración propia).

SUBSISTEMA	ACTIVOS	CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA DE INSUMOS EN EL DESARROLLO	CARACTERÍSTICA DE LA DEMANDA DE INSUMOS EN EL MANTENIMIENTO	PARAMETROS DESEMPEÑO
Generación	20 Plantas de generación: *Hidráulicas *Térmicas	Estable y programado	Estable y programado	Capacidad generadora TW Continuidad de la operación: Tiempo fuera de operación
Distribución	200 Subestaciones. + 2 Millones de hogares	Programado y Variable	Programado y Variable	Cobertura geográfica Extension de la caída del servicio Tiempo fuera de operación

2.5 PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO

En la industria eléctrica, tanto los procesos de generación como los de distribución contemplan diferentes componentes, circuitos, equipos o maquinaria, estos equipamientos en la industria de la generación y distribución, tienen un ciclo de vida útil y para poder sacar su máxima rentabilidad se requiere de un adecuado servicio de mantenimiento. Las prácticas a los sistemas, equipos o máquinas para su mantenimiento pueden clasificarse de acuerdo a la siguiente manera (Sexto, 2017):

- **Mantenimiento correctivo:** Este tipo de mantenimiento es determinado por alguna falla o avería que impide el correcto funcionamiento del equipo y se recurre a darle solución en el momento en que se presenta.
- **Mantenimiento preventivo:** Se caracteriza por crear una estabilidad a futuro para un correcto desempeño en la red, equipo o maquinaria.
- **Mantenimiento predictivo:** En este tipo de mantenimiento se emplea un análisis o inspección de la maquinaria o equipo con la finalidad de observar y predecir su comportamiento para posibles fallas o averías.

2.6 GESTIÓN DEL INVENTARIO

Se considera pertinente comenzar esta sección para introducirnos al tema de los inventarios, presentando algunos de los conceptos que los definen.

De acuerdo a la literatura, encontramos que Ballou (2004) define los inventarios como el aprovisionamiento de los diferentes productos de acuerdo a su función en la cadena de suministro, es decir, productos de transformación, incorporación o productos finales. El objetivo del inventario para Ballou, se enfoca en su manejo para tener un equilibrio entre dos variables, por un lado el servicio al cliente y por el otro los costos, con la finalidad de satisfacer la demanda al usuario final.

Otros autores han definido a los inventarios como el conjunto de materiales enfocado hacia facilitar dos variables, la producción y la satisfacción de la demanda final, el propósito de los inventarios radica en que mediante un inventario de acoplamiento (*buffer*) se resuelva el flujo de la oferta y la demanda de un producto, su principal enfoque radica en desconectar las etapas de la operación y de la cadena de suministro (Schroeder, 2011).

Sin importar el tipo de inventario que sea, este consiste en un listado de manera ordenada y con valores de los productos que maneja la empresa. El inventario ayuda a la empresa en sus diferentes procesos, ya sean productivos o comerciales para abastecerse de materiales y favorecer al usuario final con una demanda satisfecha (Fernández, 2018).

2.6.1 POLÍTICAS DE INVENTARIOS

La gestión de inventarios considera dos elementos importantes: el control de inventarios, el cual se enfoca en conocer como se encuentra el inventario y la gestión, que está enfocada a la determinación de políticas buscando dar respuesta a tres

cuestionamientos, qué pedir de acuerdo a los diferentes productos que la empresa cuenta, cuánto pedir, es decir, la cantidad que debe ser solicitada, y cuándo pedir, el tiempo en el que se debe de gestionar el pedido (Castro *et al.*, 2014).

Para poder dar respuesta a estos cuestionamientos, existen modelos para gestionar el inventario, están clasificados de acuerdo a al tipo de demanda, cuando es conocida se le denomina demanda determinística y cuando la demanda fluctúa se le denomina demanda probabilística o estocástica. De acuerdo al tipo de demanda podemos encontrar una segunda clasificación la cual depende de la revisión que se le da a los inventarios, estas pueden ser de manera continua o de manera periódica y finalmente encontramos las estrategias que se pueden considerar de acuerdo al tipo de demanda y a la revisión que hacemos de nuestros inventarios (Bustos Flores, 2007).

- **Demanda determinística:** Son productos cuya demanda se conoce en el periodo de tiempo con exactitud. Para este tipo de demanda se muestran estrategias tradicionales de acuerdo al tipo de revisión (ver figuras 2.2).
- **Demanda estocástica:** Son productos que cuentan con demanda independiente, es decir, cuando la demanda de un producto es variable o tiene fluctuaciones a lo largo de un periodo de tiempo, por lo cual genera incertidumbre. Para la demanda estocástica existen diferentes estrategias de acuerdo a la literatura (ver figuras 2.3).
- **Modelo (s, Q) :** Es un modelo en el que se revisa el inventario de manera continua y se caracteriza por hacer un pedido de tamaño Q de manera fija cada vez que el nivel de inventario sea igual o menor que s . Dentro de las ventajas se considera en este tipo de modelo es que su entendimiento es sencillo y facilita la aplicación y que la cantidad fija a ordenar minimiza errores. Una desventaja que tiene este modelo es cuando existen pedidos en cantidades grandes, como

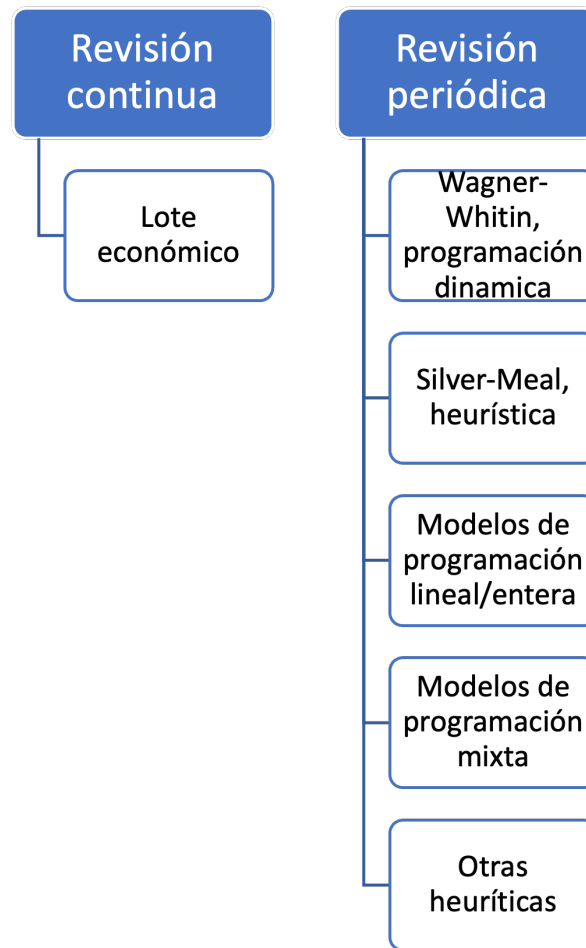


FIGURA 2.2: Clasificación de modelos de control de inventarios de acuerdo a demanda determinística.

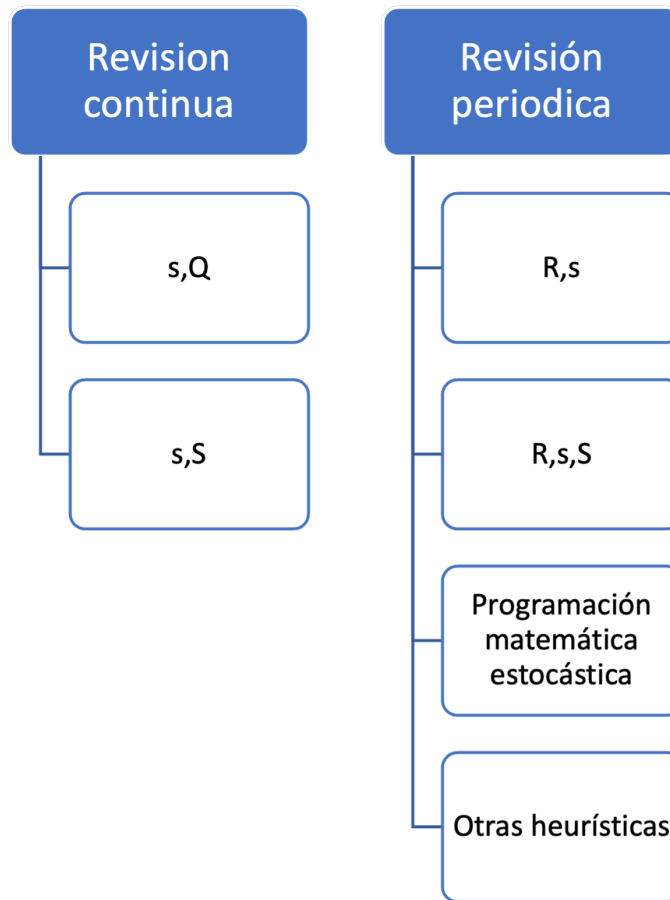


FIGURA 2.3: Clasificación de modelos de control de inventarios de acuerdo a demanda estocástica.

la cantidad a ordenar es fija, el inventario no llega a su nivel máximo después del pedido, por lo que es posible que se tenga que hacer otro pedido, lo que es un factor a considerar.

- **Modelo (s, S) :** La política (s, S) , también denominada política de mínimos y máximos, consiste en ordenar la cantidad máxima para el nivel de inventario S cada vez que el nivel de inventario sea igual o menor que s , la cantidad a ordenar por periodo dependerá del nivel de inventarios actual y el nivel máximo.

Dentro de este tipo de modelo podemos distinguir tres formas diferentes de aplicación: modelo de pedidos forzados, de orden estándar y reabastecimiento continuo.

Este modelo tiene como ventaja su utilidad para casos que cuentan una amplia cantidad de productos.

Otro punto es su flexibilidad y sencillez de aplicación, los pedidos de reabastecimiento pueden ordenarse en cualquier momento.

Las desventajas que se encuentran en este modelo es la variabilidad de la orden por periodo. Otro factor es el almacenamiento de un gran número de productos.

- **Modelo (R, S) :** Este tipo de política se emplea cuando se revisa el inventario de manera periódica, donde la variable R es el tiempo en que se revisa el inventario, por ejemplo, cada semana, cada dos semanas, cada mes, etc. Los periodos de reabastecimiento son fijos. El nivel máximo de inventario está denominado como S (Gutiérrez *et al.*, 2013).
- **Modelo (R, s, S) :** Este es un modelo que trae una combinación del modelo de mínimos y máximos y el modelo (R, S) . El nivel de inventario para este modelo se revisa cada cierto periodo de tiempo R y si se encuentra una disminución o es igual al nivel de inventario s se genera una orden para alcanzar el nivel máximo de inventario S .

En esta política las revisiones del inventario puede considerarse el grado de criticidad de acuerdo a la clasificación del inventario que se tenga por ejemplo, el inventario se revisa en periodos semanales, quincenal, mensual, etc. Si al revisar el inventario actual, éste es menor o igual que s , se realiza un pedido con la cantidad necesaria para llegar al nivel S .

- **Programación matemática estocástica:** Es otro método de solución estocástico de revisión periódica, es considerado conveniente para situaciones que no se conoce todos los valores de las variables que se presentan en el problema (Prékopa, 2013).

2.6.2 HERRAMIENTAS DE CRITICIDAD PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

La clasificación de los productos, de acuerdo a la criticidad con la que se debe tener disponible en bodega, se puede realizar por herramientas que sean de carácter cuantitativo o cualitativo. Para el caso de estudio es relevante utilizar un modelo cualitativo el cual contenga criterios que den soporte para tener en existencia los productos. Dentro de los modelos de criticidad se encuentran:

- **Modelo VED:** Es un modelo de clasificación para piezas de recambio, genera una matriz de acuerdo a dos criterios: la función y la productividad de los productos. Cada uno de estas variables cuentan con criterios definidos y una ponderación en una escala del 0-3 para el criterio de función y del 1-3 para el criterio de productividad. Los resultados de la combinación de estos dos parámetros genera una ponderación final que nos indicará en la matriz que se toma para este modelo el grado de criticidad que tiene. En este modelo se presentan tres categorías: vital, esencial y deseable (Teixeira *et al.*, 2017).
- **Modelo MCR:** Esta herramienta nos ayuda a comprender y priorizar de

acuerdo a la criticidad que tiene el producto para destinar esfuerzos y recursos. Es un modelo de criticidad por riesgo (MCR) que mediante la ecuación

$$riesgo = ff \times c$$

se estima el factor de riesgo. Tanto para la frecuencia de falla (ff) como para la consecuencia (c) se hace una ponderación para jerarquizar las variables. Para las consecuencias de falla contiene factores de criticidad en diferentes temáticas como: la seguridad y medio ambiente, producción, calidad, baja mantenibilidad y costo de mantenimiento. Cada una de estas variables debe de medir el impacto de acuerdo a una ponderación establecida y de acuerdo al área que tenga dicho impacto asignarle el valor correspondiente.

- **Modelo CTR:** Este modelo de criticidad por riesgo (CTR) en donde se presenta una expresión mediante la fórmula

$$criticidad = ff \times c$$

en donde el valor de la consecuencia (c) estará determinado por la ponderación del impacto de acuerdo a ciertos factores críticos mediante la ecuación

$$c = (IO \times FO) + CM + SHA.$$

El valor de la consecuencia esta conformado por la multiplicación de los factores de impacto en la producción (IO) y la flexibilidad de operación (FO) más la suma de los factores de costo de mantenimiento (CM) y el impacto de seguridad y medio ambiente (SHA) (Parra y Crespo, 2012).

2.6.2.1 HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO DE INVENTARIOS

El índice de calidad del inventario (IQR, por sus siglas en inglés *inventory quality ratio*), es una herramienta que sirve como diagnóstico del inventario mediante dos enfoques, uno monetario y el otro para medir el rendimiento del inventario. Esta

metodología fue desarrollada por un grupo de gerentes de materiales de 35 empresas con la finalidad de optimizar el inventario total (Hardcastle y Gossard, 1999).

2.6.2.2 INDICADORES DE DIAGNÓSTICO DE INVENTARIOS

COBERTURA DE INVENTARIO: Es un indicador que ayuda a la empresa a proporcionar información en términos de eficiencia y capacidad para mantener un suministro de productos constante, es decir, cuánto tiempo la empresa puede cubrir un nivel de inventarios para satisfacer la demanda.

ROTACIÓN DE INVENTARIO: Para calcular la rotación de inventarios se requiere dividir el costo de los productos utilizados por el promedio del inventario. Si la gestión del inventario es eficiente, la rotación del inventario será alta. Si la rotación es baja, indica que existen productos con obsolescencia o en exceso.

ÍNDICE DE ROTACIÓN DE INVENTARIO: Está expresado en porcentaje y ayuda a medir el flujo con el que se mueve el producto dentro del almacén, ya sea por una venta o por utilización del mismo.

PUNTO DE REORDEN (ROP): El objetivo de este indicador es contar con el nivel de inventarios necesario para cubrir la necesidad de la demanda mientras se abastece de nuevo el inventario, es decir, determina cuándo se debe realizar el pedido para reabastecer el inventario hasta un punto calculado y así evitar las inexistencias.

2.7 INSUMOS PARA EL DESARROLLO Y MANTENIMIENTO

Dentro de la revisión de literatura se analizan diferentes modelos de gestión de inventarios para la determinación de políticas, en la que se encuentra que previo a la determinación de un modelo se debe de analizar la organización del inventario y hacer un diagnóstico.

En el proyecto, la importancia de la disponibilidad de insumos de mantenimiento tiene como fin el mantener la continuidad del servicio y las condiciones operativas de la red eléctrica. De acuerdo a una revisión de literatura, se encuentra que existen diferentes políticas y modelos de inventarios que atienden diferentes situaciones y que para el caso de estudio se reúnen investigaciones y experiencias con cuatro tipo de características y que para ser revisados debe de contener al menos una de las siguientes características:

- Enfocado a políticas de inventarios.
- Que tenga relación a la energía eléctrica.
- Que muestre herramientas para la parte de administración del inventario.
- Que se enfoquen en problemas de piezas de mantenimiento, reparación y operación (MRO) o piezas de repuesto.

La investigación presentada está enfocada a la gestión de inventarios para repuestos en líneas de producción y la inspección del mantenimiento preventivo. Debido al tipo de demanda fluctuante la investigación ocupa un modelo estocástico mediante un algoritmo de programación dinámica con revisiones periódicas (Wang, 2012).

En la industria de refrescos muestra la utilización del modelo lote económico óptimo de compra (EOQ por sus siglas en inglés, *economic order quantity*), tomando

datos históricos para abastecer los insumos de repuesto destinados al mantenimiento de las máquinas de líneas de producción. Los resultados obtenidos muestran un equilibrio en el nivel de servicio, los costos de abastecimiento y el nivel de inventario que se debe tener (Fernández Ballart *et al.*, 2017).

Tracht *et al.* (2013) proponen un sistema de planificación de inventarios en el mantenimiento preventivo, mediante un sistema de control de adquisición de datos de mantenimiento en el sector de energía eólica.

Contreras *et al.* (2018) aplicaron un modelo *EOQ* para el control de inventarios en insumos de la construcción del acero con impacto en la minimización de costos logísticos de inventarios y el nivel de servicio.

Un trabajo registrado en Barranquilla Colombia para el control de inventarios de insumos en hospitales, evalúa con base en una reducción de nivel de agotados con una política (s, Q) , teniendo como resultados una reducción en el exceso del inventario en costos (Lasprilla, 2015).

Las piezas de repuesto y el inventario de acoplamiento (*buffer*) son dos variables que pueden afectar en los costos del sistema de mantenimiento. Gan *et al.* (2015) realizan una investigación que se enfoca en un sistema de producción para la industria de papel. La investigación considera tres factores que integran los costos de los sistemas de producción como el inventario de mantenimiento, el inventario de acoplamiento (*buffer*) y los repuestos. Consideran cuatro variables de control y emplean un modelo de algoritmo genético para posteriormente ser evaluado mediante diferentes simulaciones.

Tang *et al.* (2017), mediante un marco para identificar las variables que intervienen en el mantenimiento enfocado hacia confiabilidad, crean un método el cual parte de dos enfoques, el primero de ellos es cuantitativo y el otro es cualitativo. Los análisis que destacan es una matriz que analiza los riesgos e índices de evaluación y promedio de puntuación de las variables que intervienen en el mantenimiento.

Velásquez *et al.* (2009), en su investigación para predecir la demanda mensual de la electricidad en Colombia, hacen una comparación de modelos en donde muestran un hallazgo, la red neuronal autorregresiva la identifica como el modelo con mayor precisión para pronosticar la demanda cuando se emplean la mayor cantidad de los datos disponibles.

Amaya y Ribeiro (2022) desarrollan un trabajo de investigación enfocado en materiales de mantenimiento, reparación y operación (MRO) con la finalidad de desarrollar políticas de inventarios en situaciones donde las empresas cuentan con una gran cantidad de productos almacenados y con diferentes características, por lo que requieren de estrategias y revisiones de inventario diferentes. El proyecto propone una metodología detallada en pasos para determinar políticas de inventario. Dentro de los resultados obtenidos, se identificó que al reducir la variable tiempo de entrega (*lead time*) muestra resultados favorables en comparativa con un modelo de inventarios, reflejado en un ahorro de inventario. Una de las formas fehacientes de determinar políticas, es considerar múltiples criterios como muestra la investigación.

Gutiérrez *et al.* (2013) proponen una política de inventarios (R, S) con una revisión periódica para un proyecto de fabricación de transformadores en donde la demanda es muy fluctuante, con este modelo se redujeron los faltantes del inventario y en términos monetarios las penalizaciones se redujeron en un 16.03%.

La investigación propuesta por Chen *et al.* (2019) está enfocada a la piezas de mantenimiento, reparación y operación (MRO), la cual propone una serie de alternativas de acuerdo a las herramientas y técnicas actuales de la industria 4.0 para la administración y clasificación del inventario.

La investigación realizada por Zhu (2022) se enfoca en la propuesta de una heurística de la política de mínimos y máximos. Dicha investigación propone una modificación a esta política base en donde contempla hacer pedidos con restricciones los cuales aceptan estar por encima o por debajo del máximo después de ordenar. Esta investigación se centró en el estudio de pedidos en una sola etapa y un producto.

Teniendo en cuenta la presencia de una demanda estocástica no estacionaria, la investigación presentada por Visentin *et al.* (2021) está enfocada en analizar el desafío del tamaño de lote en el inventario para una ubicación y un artículo. Se contemplan los costos por asociados, por revisión, por mantenimiento y penalización, así como los costos fijos y lineales de realizar un pedido. La metodología propuesta combina la programación dinámica estocástica con el método de ramificación y acotamiento, que se mejora mediante límites de programación dinámica, es decir, hallar la revisión con un costo bajo.

2.8 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

La revisión sistemática de literatura que se abordó, tiene la finalidad de tener en cuenta diferentes alternativas de herramientas y conocer algunos conceptos que ayuden a hacer más sencillo el seguimiento de esta tesis. Por otra parte, se dan a conocer algunos detalles del caso de estudio tanto de operación como de estructura y ubicación. Este capítulo resalta la importancia que tiene la gestión de inventarios dentro de las organizaciones y se muestran herramientas para el control del inventario que pueden ser empleadas, así como también, se hace una revisión de las políticas de inventario tradicionales.

Las herramientas que se consideran pertinentes para el siguiente capítulo de metodología están enfocadas por una parte hacia el diagnóstico, mediante el desarrollo del índice de calidad del inventario y por otro lado, hacia la gestión del inventario con el modelo de criticidad total por riesgo (CTR), que será el modelo el cual categorizará el inventario del caso de estudio para poder obtener los productos críticos que deben de estar en inventario. Para la parte de control, las políticas de inventario a utilizar serán la de mínimos y máximos (s, S) y el modelo (R, s, S) .

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En este capítulo abordaremos una serie de pasos con la que se solucionará la problemática del caso de estudio. Para abordarla, se desarrollará un proceso conformado por etapas en donde se revisará la situación actual del inventario para poder administrarlo y otorgar una política de inventario más adecuada para cada situación. En la primera etapa, denominada diagnóstico, se realiza un análisis preliminar para evaluar el comportamiento de los datos y pretende ayudar a identificar la situación actual del inventario del caso de estudio. La segunda etapa estará conformada por la administración, aquí se busca mostrar la herramienta que se seleccionó con la que se puedan categorizar los insumos y explicar su proceso de utilización. Finalmente, tenemos la etapa de control donde se definen las políticas de inventario de acuerdo a cada categoría de productos (ver figura 3.1).



FIGURA 3.1: Diagrama de la estructura definida para desarrollar la problemática del caso de estudio.

En la figura 3.1 se muestra una representación gráfica del desarrollo para abordar la problemática del caso de estudio mediante una estructura por etapas.

3.1 ETAPA 1: DIAGNÓSTICO

En esta primera etapa que se desarrolló, iniciamos con una revisión de literatura, en donde se observan diferentes casos de estudio y las herramientas que se ocuparon para darles solución, sin embargo, se encontraron casos de estudio con características similares al que se está presentando pero aplicadas a otra industria. Para abordar esta tesis, es necesario una revisión de literatura donde recabaremos información de las diferentes soluciones y métodos que se han abordado en este tipo de problemática.

3.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En este primer paso, se hace la recolección de los datos que serán otorgados por la organización con el objeto de analizar los datos históricos de la oferta y la demanda de insumos y posteriormente identificar los patrones. La información proporcionada por la empresa está almacenada en un archivo txt el cual contiene 5,924 productos. Los datos obtenidos del documento son los siguientes:

- Códigos de productos.
- Descripción de producto.
- Precios.
- Bodega donde está cada producto almacenado.
- Demanda anual.

Existen otros tipos de documentos que fueron recopilados para su análisis como el archivo de precios, este servirá para analizar e identificar patrones. También se cuenta con otros campos que serán analizados individualmente en los que se harán reportes, tal es el caso de los materiales, centros de distribución y proveedores.

3.1.2 CREACIÓN DE BASE DE DATOS CON LA INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Para poder identificar y analizar los productos, es necesario crear una base de datos enfocada a los insumos de mantenimiento de la generación y distribución de energía eléctrica, en donde se puedan identificar de una manera sencilla los insumos. Esta base de datos contiene los materiales utilizados en esta industria y contendrán los campos del código del producto así como una breve descripción con la finalidad de conocer el tipo de material. Por último, se adicionará el campo total, el cual contendrá el total consumido en el periodo de un año, es decir, la demanda que ha tenido este producto (ver figura 3.2). Esta tabla creada servirá como base para los siguientes análisis, en donde se requiere tener identificado el material, además de ir identificando cómo se comporta la demanda de insumos, es decir, en el campo total, la frecuencia con la que se utiliza el insumo para el mantenimiento de la generación y distribución de energía eléctrica.

Por otra parte, tenemos que extraer información de los proveedores y centros de distribución, el campo principal es el número o código del centro distribución o del proveedor según sea el caso a analizar, otro de los campos que contendrán en común dichas tablas será la cantidad de pedido, la frecuencia relativa y la frecuencia acumulada y por último un campo para la clasificación de acuerdo al diagrama de Pareto.

Sum of Q	Material	TextoBreveMaterial	Total	Sum of Q	Material	TextoBreveMaterial	Total
	10052182	CABLE DROP BAJA FRICCION	928,000		10003002	HEBILLA CINTA DE ACERO	127,414
	10003087	CABLE 4/0 ACSR SEMIAISLADO	803,102		10003113	CABLE AISLADO XLPE	98,837
	10003298	CABLE MONOF CONCENTR ALUM.	644,134		10003327	CABLE TRENZ CUADR	86,286
	10003105	CABLE ACSR 1/0 SEMIAISLADO	560,153		10006299	SELLO SEG NORMALIZACION SECTOR SUR	76,800
	10003296	CABLE MENSAJERO	486,130		10006300	SELLO SEG PARA SUSPENSION	72,600
	10003122	CABLE AL/AC ACSR	485,771		10020097	CORREA PLASTICA P/AMARRE	62,610
	10003102	CABLE AC GALV P/RETENIDA	374,263		10016295	SELLO SEG NORMAL ORO CLARO TOLIMA SUR	62,400
	10003088	CABLE 4/0 ACSR SEMIAISLADO 34.5	357,841		10005821	PINZA DE ANCLAJE ACOMETIDA	60,349
	10052173	ADSS-48 G.652D SPAN 120M SPECIFICATION	320,000		10019940	CARTUCHO AZUL CONECTOR PRESION CUÑA	60,337
	10003114	CABLE AL ACSR 4/0 AWG (PENGUIN)	297,708		10002484	ALAMBRE CU AISLADO No 8	56,117
	10003108	CABLE ACSR DESNUDO	274,150		10003943	CONECTOR PERFORACION 25-95MM²	54,640
	10003099	CABLE AC 1/4IN PARA RETENIDA CLAS A	268,274		10003243	CABLE CU DESNUDO No2	52,860
	10003332	CABLE TRIFI CONCENTRICO COBRE AISL	168,589		10030124	CABLE 266 ACSR SEMIAISLADO	50,010
	10031472	CABLE FIBRA OPTICA ADSS	160,000		10050215	CABLE ALUMINIO AISLADO No.6	47,131
	10003512	CINTA ACERO BAND-IT 3/4IN	146,085		10055455	CABLE AL DESNUDO ACSR 266MCM	46,496
	10003329	CABLE TRENZ TRIPLEX 600V	145,679		10004959	GRILLETE AC GALV RECTO 5/8IN	45,131
	10005001	HEBILLA CINTA DE ACERO	127,414		10003112	CABLE AISLADO XLPE 1/0	43,716
	10003113	CABLE AISLADO XLPE	98,837		10022274	CABLE AISLADO AL-CU No6	42,915
	10003327	CABLE TRENZ CUADR 600V	86,286		10004989	GUARDACABO RETEN CABLE ACERO 3/8IN SS	41,858
					10004479	ESPACIADOR CABLES SEMIAISLAD 15 KV SERI	22,593

FIGURA 3.2: Muestra de base de datos de productos

3.1.3 ANÁLISIS DE DATOS, DEMANDA Y OFERTA

En esta etapa se requiere de las bases de datos creadas anteriormente para poder hacer el análisis correspondiente con la información que ha sido compartida por la empresa. El análisis se hará para cada una de las categorías: materiales, proveedores y centros de distribución. La información se presentará en tablas conteniendo en el primer campo el nombre de la categoría analizada, este contendrá la clasificación de acuerdo al diagrama de Pareto. El segundo campo tendrá la cantidad, es decir, si es para el campo de materiales, se identificará la cantidad de materiales que contiene A, B o C (clasificación de Pareto), para el caso de los proveedores y centros de distribución contendrán de igual manera el campo de cantidad y con la información de cada categoría. Otro de los campos será el porcentaje de cantidad de materiales, centros de distribución y proveedores, según sea el caso, seguido del campo de unidades suministradas y por último el porcentaje de las unidades suministradas.

3.1.4 IDENTIFICAR PATRONES, DEMANDA Y OFERTA

En esta etapa se identificarán patrones del comportamiento de los materiales, proveedores y centros de distribución. Posteriormente se hará el análisis de la in-

formación, con el objeto de crear nuevos campos como la frecuencia relativa y la frecuencia acumulada, para poder explicar los hallazgos encontrados previamente. Con el análisis anterior se generarán reportes conteniendo los hallazgos encontrados en el análisis. Cada hallazgo será numerado y contendrá la descripción de lo encontrado.

3.1.5 HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICO

Con base al análisis previo revisado se determina el uso de otra herramienta que es la que se presenta a continuación. Lo que se pretende con esta herramienta es tener un diagnóstico del inventario en términos monetarios y conocer cuáles productos son activos, en exceso, obsoletos y de lento movimiento para el caso de estudio, es por ello que se propone el índice de calidad del inventario como herramienta de diagnóstico. Usualmente se forman equipos de trabajo para tratamientos de los hallazgos antes del control.

3.1.5.1 ÍNDICE DE CALIDAD DEL INVENTARIO (IQR)

Como se menciona anteriormente lo que resulta de la herramienta para implementar el diagnóstico del inventario, es el índice de calidad del inventario (IQR, por sus siglas en inglés *inventory quality ratio*) del inventario total, agrupado de diferentes maneras: por proveedor, por familia de producto, por comprador, etc.

Esta herramienta divide el inventario en tres categorías: productos con requerimientos futuros, productos con requerimiento no futuro pero con uso reciente y productos sin uso reciente. En la categorías mencionadas de cómo se divide el inventario tenemos que los productos con requerimientos futuros son productos que están en una situación actual de uso. Por otra parte, tenemos los productos con requerimientos no futuros pero con uso reciente, la situación actual de estos productos

es que han sido ocupados en un periodo de tiempo corto aunque en el momento no estén programados. También tenemos los productos sin uso reciente, estos productos de acuerdo a un periodo más largo de tiempo se pueden dividir en productos de lento movimiento, es decir, que se han demandado en un periodo de tiempo muy largo. Por último se encuentran los productos obsoletos, estos productos no han sido utilizados en un periodo de tiempo muy largo, no han tenido demanda alguna y por lo tanto, son productos que deberían de sacarse de nuestra cartera de productos.

Los periodos de tiempo no son fijos, sino que dependen de la política de cada empresa, por ejemplo, los productos que no están programados pero que están siendo utilizados su periodo de tiempo puede ser antes de 6 meses. Los productos que no se han utilizado entre 6 y 12 meses podemos decir que son de lento movimiento y los que no se han usado en más de 12 meses podrían ser los obsoletos. Para el caso de estudio utilizaremos estas fronteras de 6 y 12 meses.

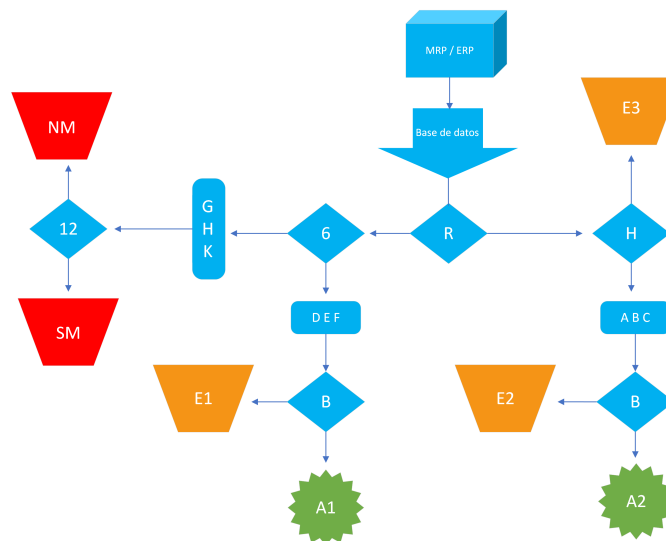


FIGURA 3.3: Diagrama del índice de calidad del inventario (Hardcastle y Gossard, 1999)

El diagrama de la figura 3.3 representa la manera en que se desarrolla la herramienta para obtener el IQR. El proceso para aplicar esta herramienta es de la forma que se describe a continuación.

De la base de datos que se construyó con los códigos de materiales tomamos los productos de uno en uno para determinar su clasificación de acuerdo al consumo que cada producto ha tenido para hacer el análisis que se describe a continuación:

- ¿Es un producto programado para su uso?
 1. De acuerdo a su tiempo de surtimiento (*lead time*), ¿tenemos el material antes de tiempo?
 - a) Sí, declaramos el producto como exceso 3 (E3). El siguiente paso es tomar otro producto.
 - b) No, continuar.
 2. De acuerdo a su clasificación ABC, ¿el material cumple con los volúmenes establecidos en el inventario?
 - a) Sí, declaramos el producto como en uso activo 2 (A2).
 - b) No, se declara como exceso 2 (E2).
- ¿Es un producto programado con uso reciente?
 1. De acuerdo al tiempo de uso, ¿el material se ha ocupado en un periodo de tiempo entre 6 y 12 meses?
 - a) Sí, continuamos.
 - b) No, se pasa a la clasificación GHK.
 2. De acuerdo a su clasificación DEF ¿el material cumple con los volúmenes establecidos en el inventario?
 - a) Sí, declaramos el producto como activo 1 (A1).
 - b) No, se declara como exceso 1 (E1).
- ¿Es un producto programado con uso pasado?
 1. De acuerdo al tiempo de uso, ¿el material se ha utilizado en un periodo de tiempo mayor a 12 meses?

- a) Sí, se declara el material como lento movimiento (SM). El siguiente paso es tomar otro producto.
- b) No, se declara el material como obsoleto (NM). El siguiente paso es tomar otro producto.

3.2 ETAPA 2: ADMINISTRACIÓN

En la etapa de administración del inventario se analizaron herramientas para poder gestionarlo, lo cual ayudará a incrementar la disponibilidad del insumo y evitará interrupciones en los sistemas de generación y distribución de energía eléctrica.

Dentro de la revisión de literatura mostrada en el capítulo anterior, se encontraron herramientas de carácter cualitativo, con la intención de identificar de acuerdo a las necesidades del caso de estudio, qué productos necesitan estar en el almacén de acuerdo a su grado de criticidad. Para determinar el grado de criticidad se utiliza la clasificación total por riesgo (CTR).

3.2.1 CLASIFICACIÓN CTR

La criticidad que debe de tener un producto para estar en el almacén es de suma importancia para la industria eléctrica, es por ello que la herramienta que se apega más puede ser de carácter cualitativo.

Algunas de las herramientas cualitativas revisadas fueron la matriz de criticidad por riesgo (MCR), el modelo vital, esencial y deseable (VED), y el modelo de criticidad total por riesgo (CTR), todas ellas con las características necesarias para ser herramientas con criterios que pudieran ser adecuados para la industria eléctrica. La herramienta seleccionada fue el modelo CTR, ya que se ajusta muy bien al criterio de criticidad que es muy relevante por el impacto que tiene una falla en la

red de generación y distribución de electricidad.

En esta etapa se tomará una muestra de los productos para poderlos clasificar y conocer en qué categoría se ubica de acuerdo al criterio de criticidad.

3.2.2 DEFINICIÓN DE CRITERIOS

En el modelo de criticidad total por riesgo (CTR) se desarrolla una expresión la cual dice que la criticidad total del riesgo es igual a la frecuencia de fallos por la consecuencia de eventos de falla. Para obtener el valor de la consecuencia de eventos de falla, este modelo presenta la siguiente ecuación

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA.$$

Estos criterios de impacto son los siguientes:

- *C*: Consecuencia de falla.
- *IO*: Impacto en la producción.
- *FO*: Factor de flexibilidad operacional.
- *CM*: Factor de costes de mantenimiento.
- *SHA*: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Cada criterio de impacto antes mencionado cuenta con sus criterios de criticidad. Estos criterios se muestran en las tablas y contienen campos con una ponderación y una breve descripción para que los expertos puedan evaluar y dar el criterio a los insumos para poder categorizarlos (ver tablas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5).

TABLA 3.1: Ponderación de frecuencia de falla.

Factor de Frecuencia de fallas (FF)		
Clasificación		Interpretación
4	Frecuente	Más de dos eventos de falla al año.
3	Promedio	Entre 1 y 2 eventos de falla en el año.
2	Bueno	Entre 0.5 y 1 evento de falla en el año.
1	Excelente	Menos de 0.5 eventos al año.

TABLA 3.2: Ponderación del factor de impacto operacional.

Factor de Impacto Operacional (IO) (escala 1 - 10)	
Clasificación	Interpretación
10	Pérdidas de producción superiores al 75%.
7	Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%.
5	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%.
3	Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%.
1	Pérdidas de producción menor al 10%.

TABLA 3.3: Ponderación de factor de impacto por flexibilidad operacional.

Factor de Impacto por Flexibilidad Operacional (FO) (escala 1 - 4)	
Clasificación	Interpretación
4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.
2	Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.
2	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.

TABLA 3.4: Ponderación de factor de impacto en costos de mantenimiento.

Factor de Impacto en Costos de Mantenimiento (CM) (escala 1 - 2)	
Clasificación	Interpretación
2	Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20,000 dólares.
1	Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20,000 dólares.

TABLA 3.5: Ponderación en factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Factor de Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) (escala 1 - 8)	
Clasificación	Interpretación
8	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos.
6	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración.
3	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas.
1	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.

3.2.3 MODELO DE CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO

En esta sección se hace la parte de la clasificación en donde se asigna al material alguna de las siguientes categorías: criticidad media, criticidad alta y no crítico. Con las tablas y las ponderaciones anteriormente mencionadas se le da un valor al material. Se aplica la siguiente ecuación

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA).$$

Esta ecuación nos va a dar como resultado un número, el cual nos va a servir para poder ubicar la categoría de nuestro producto en la matriz de criticidad total por riesgo (ver tabla 3.4).

3.3 ETAPA 3: CONTROL

Como se viene desarrollando en las etapas anteriores, se inicia esta etapa de control ya teniendo administrados los productos, es decir, se categorizan de acuerdo a la criticidad en la operación. Para esta etapa se realiza la propuesta de la política de inventario y el procedimiento para determinarlas.

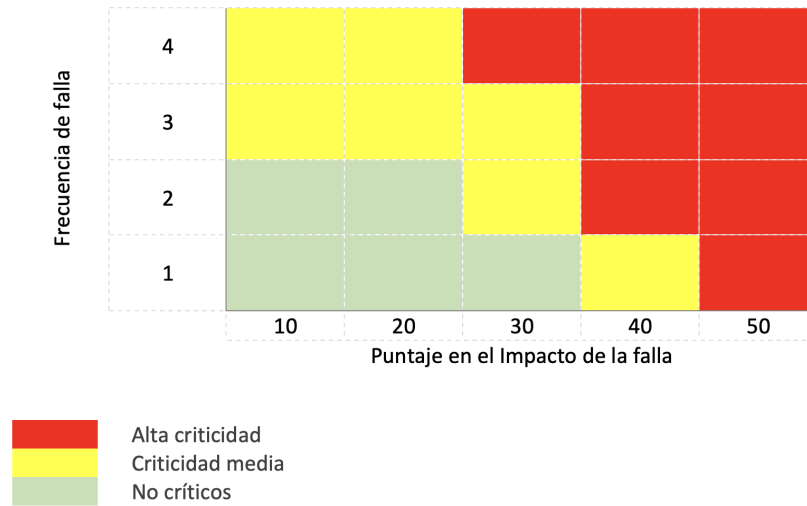


FIGURA 3.4: Matriz de criticidad total por riesgo.

3.3.1 POLÍTICA DE INVENTARIOS

Para el caso de estudio, se determinó emplear una clasificación de los productos por el modelo CTR. En esta sección se determinará la política que cada categoría de productos utilizará. Se explicará la estructura de manera general de todas las categorías y se determinará la política para cada una de estas, así como también cómo se va a evaluar el periodo de revisión de cada producto en el inventario de acuerdo a la categoría definida por el criterio de criticidad. Posteriormente se hará una explicación más a detalle de cada categoría como no críticos, media y alta criticidad. Esta explicación contendrá la fórmula que se emplea para pedir y su nomenclatura.

Uno de los factores para definir una política de inventarios es saber cuánto pedir, una fórmula para determinar la cantidad a pedir esta determinada por la siguiente ecuación

$$S = \sigma_x z + \mu_x.$$

σ_x : Desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega.

z : Normal estándar de acuerdo a un nivel de servicio predefinido.

μ_x : Demanda media durante el plazo de entrega.

Dentro de las formulas pertinentes que contiene la presente investigación, está la desviación estándar combinada, ya que existe incertidumbre en la demanda y en el tiempo de entrega.

$$\sigma_c = L \sigma_d^2 + d^2 \sigma_L^2$$

L : Tiempo de entrega.

σ_d : Desviación estándar de las ventas.

d : Ventas promedio.

σ_L : Desviación estándar del tiempo de entrega.

Para determinar el valor z se utiliza la distribución normal o también conocida como la campana de Gauss. Para un nivel de servicio establecido, el valor de z quedaría de la siguiente manera: nivel de servicio del 95 %, $z = 1.6449$; nivel de servicio del 98 %, $z = 2.0537$.

Para finalizar con la etapa de control, se propone para la categoría de productos no críticos una política (R, s, S) . Para la categoría de alta criticidad y media criticidad se ha propuesto una política de mínimos y máximos (s, S) .

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

El objetivo del capítulo es mostrar cómo se desarrolló el modelo para administrar el inventario para lo cual se aplicaron dos herramientas. La primera herramienta es la manera que dicta la forma de uso del diagnóstico IQR. La segunda herramienta es una metodología para administrar los inventarios mediante el costo total por riesgo (CTR). Es importante mencionar que los resultados serán mostrados mediante dos escenarios que son llamados inventario actual para el primer escenario, e inventario propuesto para el segundo escenario.

Los resultados obtenidos se catalogaron en tres niveles para un mejor complemento de este proyecto. El primer nivel muestra la calidad del inventario por bodegas, el segundo nivel lo conforma la familia de productos y, por último, el nivel de producto.

4.1 EXPERIMENTACIÓN

4.1.1 ENTRADA DE DATOS

Partimos de la recepción de nuestros datos y ubicamos los campos que nos fueron proporcionados para ir depurando información y poder crear nuestras matrices. Los campos claves considerados fueron el campo de producto, descripción, bodega y precio.

Posteriormente se hizo un análisis previo para observar el comportamiento de las variables de producto y centros de distribución o bodegas para comprender su variabilidad. Se creó una matriz que tuviera algunos de los campos base como es el material y la cantidad del producto. Adicionalmente se creó el campo de frecuencia relativa donde se fue dividiendo la cantidad de cada material entre el total de la cantidad de materiales. Para la frecuencia acumulada, se fue sumando la frecuencia relativa y finalmente sacamos una clasificación ABC respecto a la demanda de acuerdo a la ley de Pareto. La tabla 4.1 muestra un extracto de los productos analizados. La tabla 4.2 muestra un extracto de los centros de distribución analizados.

Teniendo construida la base de datos y habiendo categorizado los productos con la clasificación ABC, los resultados de la tabla se representaron gráficamente, contemplando el campo de cantidad y la frecuencia relativa en porcentaje. Se analizó el comportamiento de la gráfica y se continuó con la anotación de los hallazgos obtenidos de la tabla anterior complementando la gráfica. En las tablas 4.3 y 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis de materiales y centros de distribución. Por otro lado las figuras 4.1 y 4.2, muestran la representación gráfica de los resultados obtenidos de las tablas 4.3 y 4.4. Finalmente se presentan los reportes de los resultados obtenidos, se detallan los hallazgos en la tabla 4.5 para materiales y en la tabla 4.6 para el caso de los centros de distribución.

TABLA 4.1: Materiales categorizados de acuerdo a la clasificación ABC.

MATERIALES	C. CANTIDAD DE PEDIDO	FRECUENCIA RELATIVA	F. ACUMULADA %	CLASIFICACIÓN
40002072	212	1.14%	1.14%	A
50000014	180	0.97%	2.10%	A
40002098	148	0.79%	2.90%	A
20000723	116	0.62%	3.52%	A
50000052	106	0.57%	4.09%	A
40002254	104	0.56%	4.65%	A
40001999	90	0.48%	5.13%	A
10005916	78	0.42%	5.55%	A
10007656	75	0.40%	5.95%	A
30001450	71	0.38%	6.33%	A
10005914	68	0.36%	6.70%	A
30001335	66	0.35%	7.05%	A
10008084	64	0.34%	7.39%	A
10003512	64	0.34%	7.74%	A
10002860	61	0.33%	8.06%	A
10004914	60	0.32%	8.39%	A
10007746	57	0.31%	8.69%	A
10002455	57	0.31%	9.00%	A
30000955	55	0.30%	9.29%	A
10008066	55	0.30%	9.59%	A

TABLA 4.2: Centros de distribución categorizados de acuerdo a la clasificación ABC.

CENTROS	C. CANTIDAD DE PEDIDO	FRECUENCIA RELATIVA	F. ACUMULADA %	CLASIFICACIÓN
1301	25313	23.29%	23.29%	A
1304	13868	12.76%	36.05%	A
1314	11870	10.92%	46.97%	A
1303	11224	10.33%	57.30%	A
1103	10503	9.66%	66.96%	A
1317	7433	6.84%	73.80%	A
1315	6458	5.94%	79.75%	A
1302	5084	4.68%	84.42%	B
1305	3398	3.13%	87.55%	B
1316	3263	3.00%	90.55%	B
1428	1311	1.21%	91.76%	B
1206	796	0.73%	92.49%	B
1208	595	0.55%	93.04%	B
1110	576	0.53%	93.57%	B
1108	570	0.52%	94.09%	B
1101	570	0.52%	94.62%	B
1209	474	0.44%	95.05%	C
1106	457	0.42%	95.47%	C
1113	396	0.36%	95.84%	C
1203	387	0.36%	96.20%	C

TABLA 4.3: Resultados de la clasificación de materiales.

MATERIALES	CANTIDAD DE MATERIALES	FRACCION DE MATERIAL	UNIDADES SUMINISTRADAS	FRACCION DE UNIDADES SUMINISTRADAS
A	2025	37%	14906	80%
B	2555	46%	2798	15%
C	932	17%	932	5%
TOTAL	5512	100%	18636	100%

TABLA 4.4: Resultados de la clasificación de centros de distribución.

CENTRO	CANTIDAD DE CENTROS	FRACCION DE CENTRO	UNIDADES SUMINISTRADAS	FRACCION DE UNIDADES SUMINISTRADAS
A	7	9%	86669	80%
B	9	12%	16163	15%
C	58	78%	5849	5%
TOTAL	74	100%	108681	100%

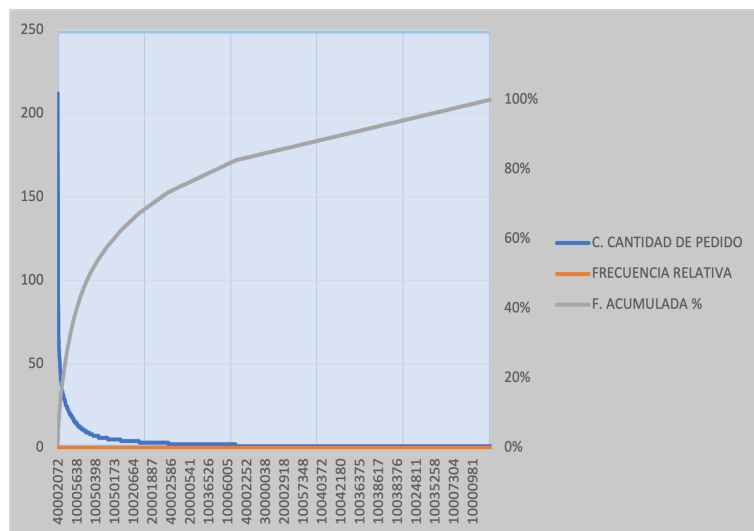


FIGURA 4.1: Gráfico de los resultados de la clasificación de materiales.

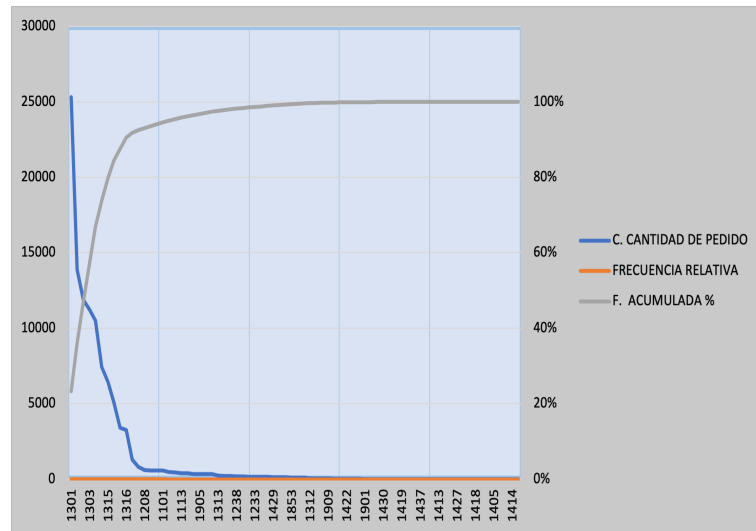


FIGURA 4.2: Gráfico de los resultados de la clasificación de los centros de distribución.

TABLA 4.5: Hallazgos de la clasificación de materiales.

REPORTE DE MATERIALES	
ASPECTO	DESCRIPCION
HALLAZGOS	1. Existe una baja concentración, el 20% de los materiales acumulan el 68.48% de las unidades suministradas.
	2. 2025 materiales concentran el 80% de las unidades suministradas.
	3. En el punto de inflexión que acumula el 82.65% está integrado por 2278 materiales, los cuales tienen como similitud ser bodegas de planta y están concentradas en el departamento de Valle del Cauca y Tolima.

TABLA 4.6: Hallazgos de la clasificación de centros de distribución.

REPORTE DE CENTROS	
ASPECTO	DESCRIPCION
HALLAZGOS	1. Existe una alta concentración, el 20% de los centros de distribución acumulan el 95% de las unidades suministradas.
	2. Solo 7 centros de distribución concentran el 80% de las unidades suministradas.
	3. En el punto de inflexión que acumula el 90.55% está integrado por 10 centros de distribución, los cuales tienen como similitud ser bodegas de planta y están concentradas en el departamento de Valle del Cauca y Tolima, integran los 5 tipos de negocio, el administrativo, comercial, generación, mantenimiento, proyectos, mostrando una fuerte concentración en mantenimiento.
	4. En el punto de inflexión donde comienza un decremento en la participación está integrado por 64 centros de distribución de bodegas de plata y bodegas almacén, mostrando similitud en la concentración de un tipo de negocio por centro de distribución, generación o comercial.

Por otro lado, se recopiló cierta información referente a los campos precio y demanda, que posteriormente serán esenciales para determinar nuestro saldo del inventario y otros campos relacionados con la cantidad de unidades en inventario.

4.1.2 COEFICIENTE DE VARIACIÓN EN PRECIO Y DEMANDA

El precio es uno de los campos necesarios para poder determinar el saldo del inventario en términos cuantitativos, por lo que es necesario corroborar que cada producto cuenta con esta información correcta. Al analizar los datos se observó que existen varios precios para un mismo material. Se construyó una tabla enfocada al precio que se encontró para cada material y se agregaron los campos para analizar y determinar cuál es el precio que se le va a asignar a cada material. Los campos fueron los siguientes: precio promedio, precio mínimo, precio máximo y el coeficiente de variación.

El coeficiente de variación (CV) en el costo de un producto es una métrica estadística que indica la variabilidad relativa de sus precios en comparación con su

promedio. En investigaciones relacionadas con la gestión de inventarios y adquisiciones, el análisis del índice de variación es útil porque permite identificar los artículos cuyos precios son más volátiles. El uso de un índice de variación en el costo de un producto puede ayudar a evaluar y comparar la volatilidad de los precios entre varios artículos. Un CV alto indica una mayor variabilidad de los precios, lo que muestra que los precios fluctúan mucho en comparación con su promedio. Por otro lado, un CV bajo indica una disminución de la variabilidad de los precios, lo que indica que los precios se mantienen bastante estables con respecto a su promedio. En este análisis donde se encontró que existen productos con diferentes precios, se aplicó que cuando el coeficiente de variación es inferior a 0.20 se toma el valor promedio, cuando el coeficiente de variación es superior a 0.20 el criterio a utilizar es el valor más reciente (Winston, 2008).

La demanda es otro de los campos que se analizó mediante una representación de escategrama o diagrama de dispersión, para poder observar su comportamiento y la variación que tiene por producto. Como se observa en la figura 4.3, existen productos que son típicamente de mayor relevancia, es decir los puntos que se encuentran hacia la derecha de la figura, puntos típicamente de relevancia media, los que se encuentran hacia la izquierda y finalmente los puntos de menor relevancia, los que están hacia arriba.

Este diagrama de dispersión, es una mirada rápida a la problemática del caso de estudio, entendiendo que existen pocos puntos confiables, es decir, la parte de abajo hacia la derecha de la tabla y muchos puntos aleatorios que son los que se observan hacia la izquierda para arriba.

4.1.3 ÍNDICE DE CALIDAD DEL INVENTARIO

Para conseguir nuestro índice de calidad del inventario (IQR) se necesitaron los campos bases de material, bodega y familia de producto, posteriormente se adi-

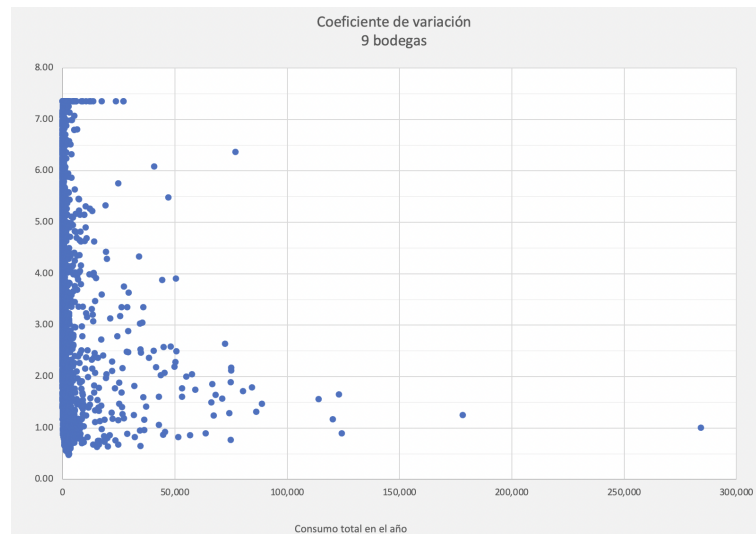


FIGURA 4.3: Escategrama del comportamiento de la demanda.

cionaron los campos de criticidad y de actividad. Para la criticidad de acuerdo al modelo de costo total por riesgo (CTR), se muestra la categorización de cada material de acuerdo si son de alta, media o baja criticidad. Para el campo de actividad, se muestran los niveles de inventario para partes comprometidas para uso, es decir, la frecuencia con la que el material se ha usado teniendo las siguientes categorías: activos, medio, lento y nulo. Dicha información fue proporcionada por la empresa.

Se incorporó el campo de existencia de los materiales por unidad y el costo por unidad para crear el campo de saldo del inventario. En la tabla 4.7 se muestra un extracto trabajado en una hoja de cálculo para visualizar como está determinado el campo, teniendo como resultado el saldo del inventario expresado en dólares.

El inventario total es nuestro siguiente campo a desarrollar, para calcularlo primero requerimos determinar nuestro inventario de trabajo que se determinó mediante nuestro consumo promedio multiplicado por el tiempo promedio de reposición. Posteriormente se requiere conocer cuál es nuestro inventario de seguridad, se calcula de acuerdo a la criticidad determinada para cada producto, el nivel de seguridad deseado y la desviación estándar combinada de la demanda y del tiempo de entrega. Finalmente, se muestra en el extracto elaborado en hoja de cálculo cómo

TABLA 4.7: Saldo del inventario en dólares.

EXISTENCIAS EN U.	COSTO U. USD	SALDO DEL INV. USD
1	\$528.77	=E2*D2
11	\$42.70	\$469.72
6	\$116.39	\$698.33
6	\$127.58	\$765.48
1	\$1,547.27	\$1,547.27
112	\$0.59	\$65.64
2	\$1,717.11	\$3,434.23
150	\$0.85	\$127.40
2089	\$2.75	\$5,737.06
5364	\$2.81	\$15,049.24
3531	\$3.07	\$10,824.35
2943	\$3.04	\$8,942.72
6566	\$3.16	\$20,764.84

se construyó el campo de inventario total, mostrado en la tabla 4.8.

Teniendo el campo del inventario se prosigue a analizar los productos activos, excesos, productos de lento movimiento y los que son nulo movimiento. Para determinar esta categoría se requiere tener el campo de inventario total. Partiremos de los productos que son catalogados como activos, por lo que están colocados como A2, se determina mediante la multiplicación del inventario total, es decir, las unidades, por el costo por unidad, por lo tanto, el resultado nos dará la cantidad de producto activo en dólares. Posteriormente se saca el exceso que tiene cada producto, en este caso, para los productos activos, el exceso que les corresponde es el E2 y para sacar este campo se requiere de restar primero las existencias menos el inventario total y posteriormente a ese resultado se va a multiplicar por el costo unitario en dólares para obtener nuestro exceso 2, solamente se considera este campo si las existencias son mayores que el inventario total, de lo contrario, se considera cero.

Para los de una actividad media, prácticamente se aborda de una manera similar, solo que son productos catalogados como A1, y se determinan multiplicando el inventario total, es decir, las unidades, por el costo por unidad, por lo tanto,

TABLA 4.8: Unidades del inventario total.

INV. TRABAJO	INV. SEGURIDAD	INVENTARIO TOTAL
2	27	=H10+I10
740	551	1291
1873	2690	4563
1035	1302	2337
860	1354	2214
1166	1789	2955
1094	1683	2777
534	1021	1555
116	239	355
5	23	28

el resultado nos dará la cantidad de producto activo en dólares. El exceso para este tipo de productos esta indicado como E1 y se requiere restar las existencias menos el inventario total, posteriormente a ese resultado se multiplica por el costo unitario en dólares para obtener nuestro exceso 1. Finalmente tenemos los productos catalogados con una actividad de lento movimiento y los de nulo movimiento. Para estas dos categorías se pasa directo la cantidad del saldo del inventario.

Teniendo ya nuestra matriz construida con los datos necesarios y ya catalogados los productos en activos, medio, lento y nulo en términos monetarios, podemos continuar para obtener los resultados del IQR por producto. Para determinarlo aplicamos la formula:

$$IQR = \frac{A1 + A2}{A1 + A2 + E1 + E2 + SM + NM}$$

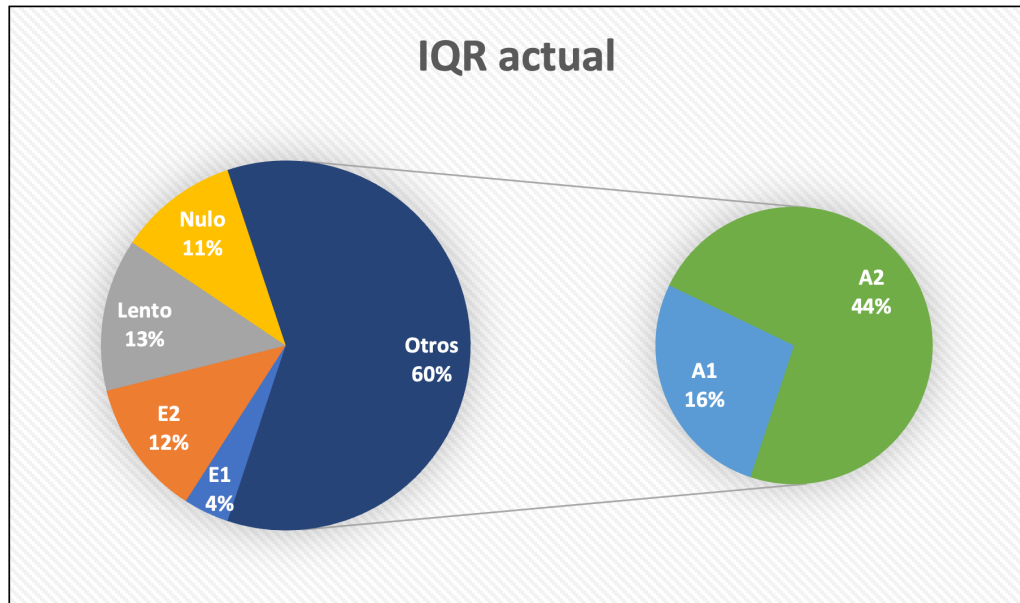
y el resultado lo expresamos en porcentaje. El IQR se determina por cada producto. De igual manera también se determina un IQR general, es decir, de una manera global conocemos el índice de calidad del inventario, para determinarlo se hace la suma total aplicando la formula anterior, es decir, para los A1, se aplica una suma total, de igual manera para los A2, E1, E2, SM, NM, para finalmente sacar el por-

centaje de calidad del inventario. Como ya se había mencionando en el capítulo de metodología los productos A2 son aquellos que se consideran activos y cumplen con los volúmenes de inventario, el excedente de ese volumen pasa a ser E2 que es el exceso dos. Los productos con una actividad media se posicionan como A1, es decir, aquellos que se han utilizado en un periodo de tiempo de 6 meses que cumplen con la regla permitida del volumen de inventarios y el excedente pasa como E1. Finalmente, aquellos productos que se han utilizado en un periodo largo de tiempo, se declaran como SM, es decir productos de lento movimiento y los que exceden ese periodo de tiempo, serian aquellos productos que no han sido utilizados, declarándolos como productos nulos o NM.

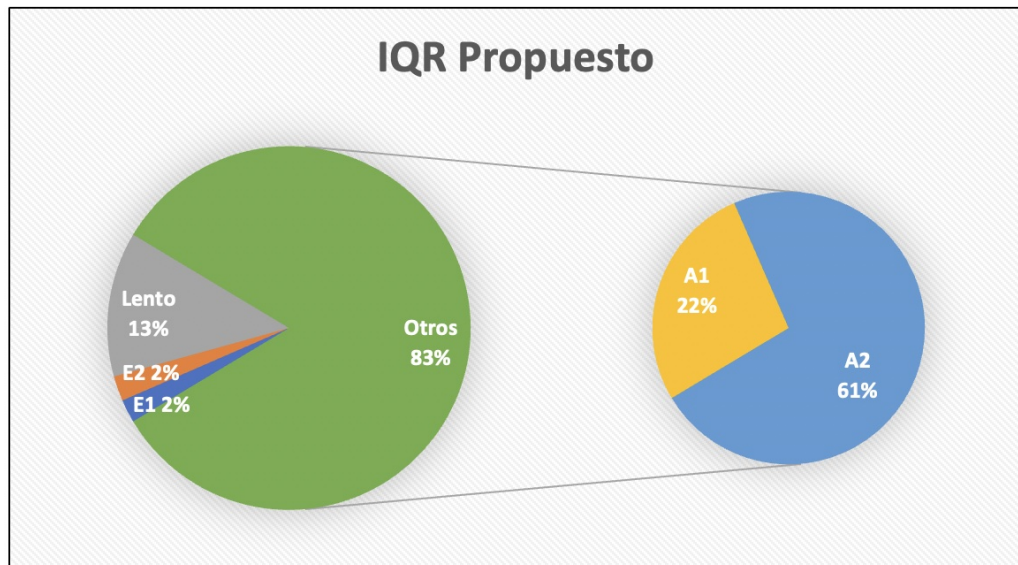
En el segundo escenario denominado propuesta del inventario, se vuelve a recalcular el índice de calidad del inventario, teniendo conocimiento de cuáles son los productos obsoletos, serán descartados y se vuelve a recalcular el IQR, sin embargo, se contempla la cantidad mínima de acuerdo al proveedor y se analiza el pedido de inventario actual, de ser permitido se mantiene la cantidad a pedir, en caso contrario, la cantidad a pedir es la mínima requerida por el proveedor. En la figura 4.4 se observa la distribución del índice de calidad del inventario actual y del propuesto, observando una mejora en la calidad del inventario.

La figura 4.4 nos ayuda a comprender mejor el trabajo realizado y poder tener una comparativa con el primer índice de calidad del inventario y el inventario final propuesto. Nos muestra una primera visión del inventario conociendo la existencia de productos de lento movimiento y los de nulo movimiento. En el primer escenario denominado actual, el 60 % de los productos representados son A1 y A2, distribuido con un 44 % para los productos activos y el 16 % para los productos medios.

Por otro lado en el segundo escenario, denominado propuesto, observamos que no existen productos de nulo movimiento, ni excesos, esto permite darles prioridad a los productos que requieren estar en el inventario, que serían productos activos y los productos medios, teniendo una mayor concentración para los productos activos



(a) IQR Actual.



(b) IQR Propuesto.

FIGURA 4.4: Índice de calidad del inventario a nivel general.

en un 68 % y aumentando en un 25 % los productos medios.

Esta es una forma de representar la comparativa gráficamente como se muestra en la figura 4.5, el IQR actual contra el IQR propuesto, con un aumento significativo en el bienestar del inventario.

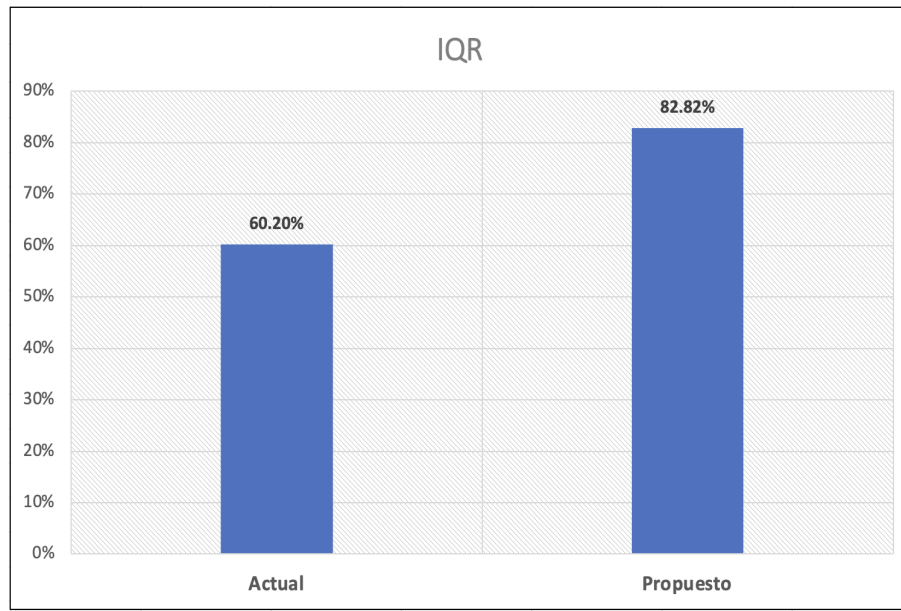


FIGURA 4.5: Comparativa gráfica del índice de calidad del inventario a nivel general.

Posteriormente se trabajó un gráfico para mostrar los resultados cuantitativos respecto al ahorro. Con esto podremos observar la diferencia que se propone, cuál es el resultado en el ahorro que se obtuvo (ver figura 4.6). En la tabla 4.9 se muestra de manera cuantitativa y de acuerdo a la actividad, es decir si son activos, medios o bajos, los resultados absolutos y relativos del ahorro obtenido de IQR actual contra la propuesta que se propone para mejorar la calidad del índice del inventario. Los resultados muestran decrementos e incrementos de ahorros en los niveles de criticidad de los productos, sin embargo, el ahorro relativo total de esta investigación fue del 1 % que representa un ahorro absoluto del inventario de 202,871 dólares.

TABLA 4.9: Comparativa del ahorro del índice de calidad del inventario.

Criticidad	Actual	Propuesta	Ahorro absoluto	Ahorro Relativo
Alta	\$ 11,242,721	\$ 13,340,696 ↓	\$ 2,097,975	-19%
Media	\$ 135,556	\$ 128,685 ↑	\$ 6,872	+5%
Baja	\$ 2,728,010	\$ 434,036 ↑	\$ 2,293,974	+84%
TOTAL	\$ 14,106,288	\$ 13,903,417 ↑	\$ 202,871	+1%

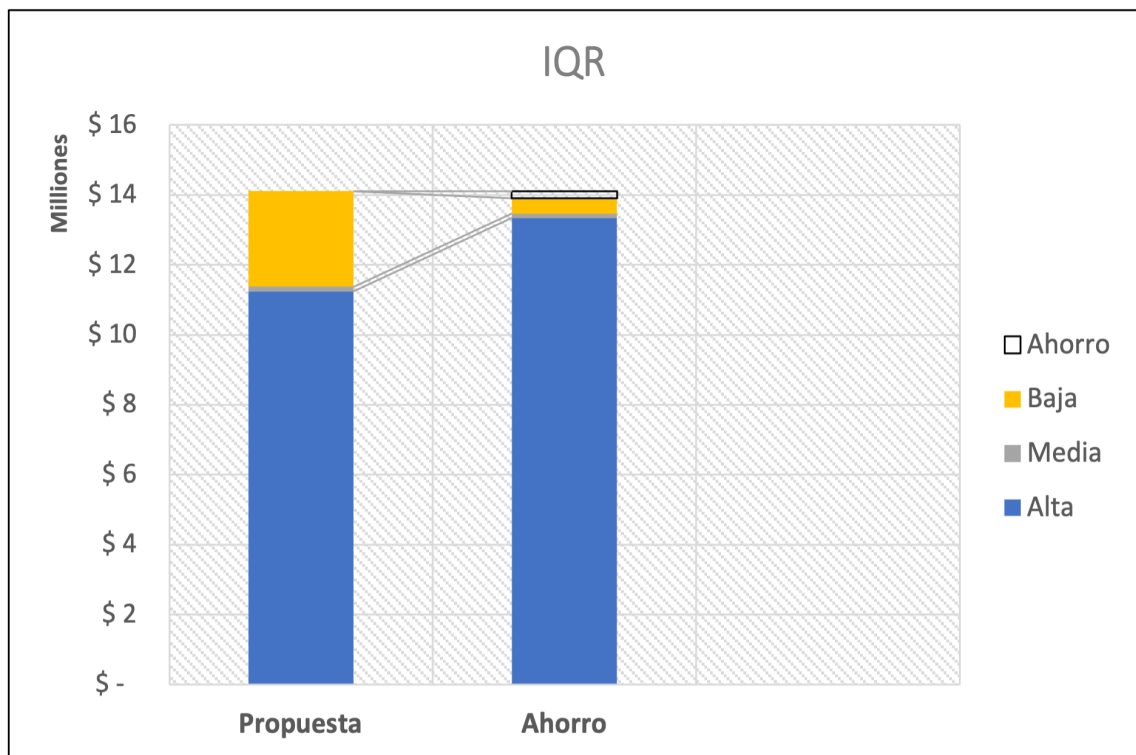


FIGURA 4.6: Ahorro de la metodología propuesta del IQR.

4.1.4 VALORES DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL INVENTARIO APLICADOS POR CENTROS DE DISTRIBUCIÓN, PRODUCTOS Y FAMILIAS DE PRODUCTOS

La información se procesó mediante dos tablas dinámicas que contienen los datos de la calidad del inventario actual y la propuesta del IQR. La tabla 4.10 muestra una primera visión utilizando la herramienta IQR y posteriormente se presenta la propuesta en la tabla 4.11 que mejoró en un 22.6% la calidad del inventario.

TABLA 4.10: Actual del índice de calidad del inventario.

Etiquetas de fila ▾	IQR INV. ACTUAL
+ 1209	3.1%
+ 1301	36.2%
+ 1302	23.7%
+ 1303	1.9%
+ 1304	68.7%
+ 1305	30.8%
+ 1314	48.4%
+ 1315	42.4%
+ 1316	58.7%
+ 1317	78.4%
TOTAL IQR	60.2%

Dentro de los beneficios que se presentan con esta herramienta del índice de calidad del inventario, es poder visualizar la calidad del inventario por bodegas, familias y productos, con la intención de detectar problemáticas fácilmente y tomar prioridades para solucionar. En las tablas 4.12 y 4.13 se muestran un extracto de la comparativa de la calidad del inventario en el centro de distribución 1317 desglosado por familia de producto y por producto.

TABLA 4.11: Propuesta del índice de calidad del inventario.

Etiquetas de fila	IQR INV. PROPUESTO
+ 1209	1%
+ 1301	67%
+ 1302	53%
+ 1303	2%
+ 1304	83%
+ 1305	81%
+ 1314	79%
+ 1315	66%
+ 1316	70%
+ 1317	93%
TOTAL IQR	82.9%

TABLA 4.12: Extracto de la calidad del inventario actual en familias y por producto.

- 1317	78.4%
- 11111505	62.6%
10006441	62.6%
- 12352308	100.0%
10015595	100.0%
- 12352310	0.0%
10006337	0.0%
10006342	0.0%
10015598	0.0%
- 13111040	0.0%
10005327	0.0%
- 14111525	100.0%
10005638	100.0%
- 15121505	100.0%
10002294	100.0%
- 15121520	24.9%
10005335	24.9%
- 23271718	0.0%
10004846	0.0%
- 24111503	11.3%
10002925	11.3%
- 24111802	0.0%
10003511	0.0%
- 25174216	17.1%
10003019	18.4%
10022548	20.2%
10022549	14.9%
- 26111707	54.7%
10002879	54.7%

TABLA 4.13: Extracto de la calidad del inventario propuesto en familias y por producto.

1317	93%
11111505	100%
10006441	100%
12352308	32%
10015595	32%
12352310	0%
10006337	0%
10006342	0%
10015598	0%
13111040	0%
10005327	0%
14111525	78%
10005638	78%
15121505	100%
10002294	100%
15121520	100%
10005335	100%
23271718	0%
10004846	0%
24111503	8%
10002925	8%
24111802	0%
10003511	0%
25174216	100%
10003019	100%
10022548	100%
10022549	100%
26111707	100%
10002879	100%

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

En los resultados obtenidos se pudo observar un incremento relativo en la calidad del inventario dada la situación actual y el escenario propuesto basado en la combinación de las herramientas costo total por riesgo (CTR) y el índice de calidad del inventario (IQR), mejorando la disponibilidad de los insumos de mantenimiento sin incurrir en un gasto mayor en los procesos de la generación y distribución para la empresa concesionada en la industria eléctrica en Sudamérica que abarca una región de más de dos millones de hogares.

De acuerdo a los resultados positivos, la investigación deja un precedente con la metodología aplicada en el proyecto para el caso de estudio en el ramo de la industria eléctrica, en específico los insumos de mantenimiento en condiciones donde existen fluctuaciones altas en la demanda y por ende la correcta aplicación de la herramienta para administrar los productos de manera cualitativa.

5.1 CONTRIBUCIONES

Las contribuciones de este trabajo han sido varias. De acuerdo con la literatura la herramienta IQR se usa con el ABC, sin embargo, en esta investigación se desarrolla con una herramienta de criticidad. La aplicación de las herramientas CTR e

IQR para el caso de estudio de insumos en la industria eléctrica, mostraron resultados significativos en la administración y mejora de los inventarios de la empresa de estudio.

La propuesta de calidad del inventario tuvo una mejora al utilizar esta herramienta, incrementando la calidad del inventario en un 22 % comparado con el escenario actual.

Los resultados obtenidos ayudan a determinar el nivel de inventarios de los productos para solucionar la problemática del caso de estudio portando una mayor confiabilidad en el suministro. De igual manera existe un aporte en los resultados, que permiten a la empresa caso de estudio una visión más amplia para identificar posibles riesgos en la operación y mitigarlos de acuerdo a la prioridad que determinen.

Con la implementación de las herramientas se logró determinar que existen 310 productos de alta criticidad que representan el 83 % del inventario propuesto.

Se determinó que el 11 % de los productos se encontraban como obsoletos, priorizando la compra de insumos que son importantes para la operación. Por otro lado, la suma de los excesos E1 (exceso de productos medios) y E2 (exceso de productos activos) representaban el 16 % de los productos y se redujo al 4 %.

Se obtuvo una alta concentración en el resultado de ahorro relativo para el nivel de criticidad baja de un 84 %, es decir, se obtuvo un ahorro absoluto de \$2,293,974 dólares.

Se logró obtener un ahorro del total del inventario en un 1 % que representa \$202,871 de dólares, es decir, se optimizó la disponibilidad de los insumos sin incurrir en un gasto mayor del que se desarrollaba.

5.2 RECOMENDACIONES A FUTURO

El alcance de la presente investigación abordó resultados de la calidad del inventario para centros de distribución, familias de productos y productos, por lo que sería interesante para futuras investigaciones añadir una variable más como lo es la categoría de proveedores, dando paso a la apertura de un panorama más amplio para una mejor toma de decisión.

Adicionalmente sería interesante realizar un estudio más exhaustivo de las localizaciones de los centros de distribución que se encuentran, así como la optimización de los espacios en los centros de distribución, con la finalidad de realizar una mejora continua y ser mas eficientes en la disponibilidad de los insumos, verificando la necesidad que cubre cada centro de distribución y los costos que generan, para validar su posible relocalización de los productos, continuar con el centro de distribución o abrir nuevas localizaciones. Otro punto recomendable sería optimizar los espacios, con la finalidad de incrementar la eficiencia y contar con los insumos de manera oportuna para los mantenimientos y reducir costos.

BIBLIOGRAFÍA

- AMAYA y RIBEIRO (2022), «Modelo de toma de decisión para materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO)», *Ciencia y Poder Aéreo*, **17**(1), págs. 67–80.
- BAEZA, RODRÍGUEZ y HERNÁNDEZ (2003), «Evaluación de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica en desregulación», *Revista facultad de ingeniería, U.T.A. (Chile)*, **11**, págs. 33–39.
- BALLOU, R. (2004), *Administración de la Cadena de Suministro. 5 a edición*, Pearson Educación.
- BUSTOS FLORES, G. B., CARLOS ENRIQUE CHACÓN PARRA (2007), «El MRP En la gestión de inventarios», *Visión Gerencial*, URL <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545875010>.
- CASTILLO, GARCÍA, MOSQUERA, RIVADENEIRA, SEGURA y YUJATO (2021), *Panorama energético de América Latina y el Caribe 2021*, Organización Latinoamericana de Energía.
- CASTRO, C., D. URIBE y J. CASTRO (2014), «Marco de referencia para el desarrollo de un sistema de apoyo para la toma de decisiones para la gestión de inventarios», *INGE CUC*, **10**(1), págs. 30–42.
- CHEN, GUSIKHIN, FINKENSTAEDT y LIU (2019), «Maintenance, repair, and operations parts inventory management in the era of industry 4.0», *IFAC-PapersOnLine*, **52**(13), págs. 171–176.

- CONTRERAS, A., C. ATZIRY, J. MARTÍNEZ y D. SÁNCHEZ (2018), «Gestión de políticas de inventario en el almacenamiento de materiales de acero para la construcción», *Revista Ingeniería Industrial*, **17**(1), págs. 5–22, URL <https://doi.org/10.22320/s07179103/2018.01>.
- DEL RIVERO, A. B. (2011), «Electricidad, características y opciones de reforma para México», *Análisis económico*, **26**(61), págs. 153–173.
- FERNÁNDEZ, A. C. (2018), *Gestión de inventarios. COML0210*, IC editorial.
- FERNÁNDEZ BALLART, M. *et al.* (2017), *Optimización del modelo de gestión de inventarios de repuestos*, Masters in business administration, Universidad Torcuato Di Tella.
- GAN, S., Z. ZHANG, Y. ZHOU y J. SHI (2015), «Joint optimization of maintenance, buffer, and spare parts for a production system», *Applied Mathematical Modelling*, **39**(19), págs. 6032–6042, URL <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.01.035>.
- GUTIÉRREZ, PANTELEEVA, HURTADO y GONZÁLEZ (2013), «Aplicación de un modelo de inventario con revisión periódica para la fabricación de transformadores de distribución», *Ingeniería, investigación y tecnología*, **14**(4), págs. 537–551.
- HARDCASTLE, R. y G. GOSSARD (1999), «Got inventory? Improving inventory performance», en *1999 International Conference Proceedings*, APICS-Educational Society for Resource Management, págs. 369–371.
- LASPRILLA, S. A. (2015), «Parametrización y evaluación de Política de Inventario (s, Q) en Hospitales: Un caso de estudio en la ciudad de Barranquilla», *Prospectiva*, **13**(1), pág. 99, URL <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.364>.
- LAVERIANO, W. (2010), «Importancia del control de inventarios en», *Actualidad empresarial*, **11**.
- LEVY, A. y J. CARRASCO (2020), *Calidad y confiabilidad de los servicios eléctricos en América Latina*, Inter-American Development Bank, URL <https://doi.org/10.18235/0002366>.

- ORTEGA, A., S. PADILLA, J. TORRES y A. RUZ (2017), «Nivel de importancia del control interno de los inventarios dentro del marco conceptual de una empresa», **7**, págs. 71–82, URL <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/liderazgo/article/view/3261>.
- PARRA, C. y A. CRESPO (2012), *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*, Ingeman, URL <https://books.google.com.co/books?id=8xsnQ1aMg2gC>.
- PRÉKOPA, A. (2013), *Stochastic programming*, tomo 324, Springer Science & Business Media.
- SCHROEDER, R. G. (2011), *Administración de Operaciones conceptos y casos contemporáneos*, McGraw-Hill.
- SENER, 2020 (2020), *Programa Sectorial de Energía 2020-2024*, [En línea, consultado el 16 de mayo del 2022], URL https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020.
- SEXTO, L. (2017), «Tipos de mantenimiento: ¿cuántos y cuáles son?», *Revista Mantenimiento en Latinoamérica*, **4**, págs. 14–17.
- TANG, Y., Q. LIU, J. JING, Y. YANG y Z. ZOU (2017), «A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance», *Energy*, **118**, págs. 1295–1303, URL <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>.
- TEIXEIRA, C., I. LOPES y M. FIGUEIREDO (2017), «Multi-criteria classification for spare parts management: A case study», *Procedia Manufacturing*, **11**, págs. 1560–1567.
- TRACHT, K., G. GOCH, P. SCHUH, M. SORG y J. WESTERKAMP (2013), «Failure probability prediction based on condition monitoring data of wind energy systems for spare parts supply», *CIRP Annals*, **62**(1), págs. 127–130, URL <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.130>.

- VELÁSQUEZ, J. D., C. J. FRANCO y H. A. GARCÍA (2009), «Un modelo no lineal para la predicción de la demanda mensual de electricidad en Colombia», *Estudios Gerenciales*, **25**(112), págs. 37–54, URL [https://doi.org/10.1016/s0123-5923\(09\)70079-8](https://doi.org/10.1016/s0123-5923(09)70079-8).
- VISENTIN, A., S. PRESTWICH, R. ROSSI y S. A. TARIM (2021), «Computing optimal policy parameters by a hybrid of branch-and-bound and stochastic dynamic programming», *European Journal of Operational Research*, **294**(1), págs. 91–99, URL <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.01.012>.
- WANG, W. (2012), «A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation», *European Journal of Operational Research*, **216**(1), págs. 127–139, URL <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.031>.
- WINSTON, W. L. (2008), *Investigación de operaciones: Aplicaciones y algoritmos*, tomo Cuarta edición, Thomson.
- ZHU, H. (2022), «A simple heuristic policy for stochastic inventory systems with both minimum and maximum order quantity requirements», *Annals of Operations Research*, **309**, pág. 347–363.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Andrés Palencia Hernández

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

POLÍTICAS Y MODELOS DE INVENTARIOS DE INSUMOS PARA EL
DESARROLLO Y MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

Nació el 27 de abril de 1995 en Veracruz, Veracruz. Es hijo del Mtro. Andrés Palencia Gongora y la Mtra. Rosa Emilia Hernández Hernández. Es licenciado en administración de negocios internacionales egresado de la Universidad del Valle de México en el año 2017. Especialista en administración del comercio exterior egresado de la Universidad Veracruzana en el año 2021.