

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y  
ADMINISTRATIVAS  
GESTIÓN EMPRESARIAL INTERNACIONAL**

**TEMA:**

Evaluación y selección de una estrategia de manejo de inventario  
en IMETRILEC Cía. Ltda.

**AUTORES:**

Egas Posso, Oswaldo David  
Caiza Preciado, Fernando Andrés

**IDENTIFICACIÓN DEL TÍTULO:**

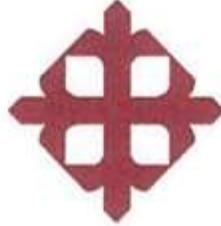
**INGENIERO EN GESTIÓN EMPRESARIAL INTERNACIONAL**

**TUTORA:**

Ing. Moscoso Meza, Wendy Johanna MAE

**Guayaquil, Ecuador**

**2015**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
GESTIÓN EMPRESARIAL INTERNACIONAL

### CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Egas Posso, Oswaldo David y Caiza Preciado, Fernando Andrés** como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero en Gestión Empresarial Internacional.

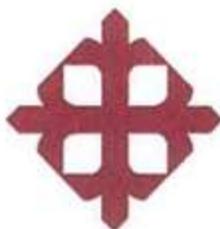
#### TUTORA

Ing. Moscoso Meza, Wendy Johanna MAE

#### DIRECTORA (e) DE LA CARRERA

Lcda. Isabel Pérez Jiménez M.Ed.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
GESTIÓN EMPRESARIAL INTERNACIONAL

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Oswaldo David, Egas Posso

### DECLARO QUE:

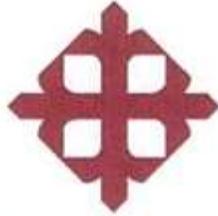
El Trabajo de Titulación **Evaluación y Selección de una estrategia de manejo de inventario en IMETRILEC Cia. Ltda.** previa a la obtención del Título de Ingeniero en Gestión Empresarial Internacional, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2015

EL AUTOR

  
\_\_\_\_\_  
Oswaldo David Egas Posso



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
GESTIÓN EMPRESARIAL INTERNACIONAL

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Fernando Andrés, Caiza Preciado

### DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Evaluación y Selección de una estrategia de manejo de inventario en IMETRILEC Cia. Ltda.** previa a la obtención del Título de Ingeniero en Gestión Empresarial Internacional, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

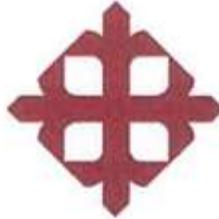
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2015

EL AUTOR

---

Fernando Andrés Caiza Preciado



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
GESTIÓN EMPRESARIAL INTERNACIONAL

## AUTORIZACIÓN

Yo, **Fernando Andrés, Caiza Preciado**

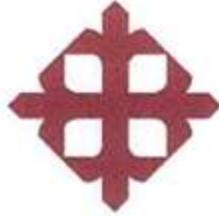
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Evaluación y Selección de una estrategia de manejo de inventario en IMETRILEC Cia. Ltda.** , cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2015**

**EL AUTOR:**

---

**Fernando Andrés Caiza Preciado**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
GESTIÓN EMPRESARIAL INTERNACIONAL

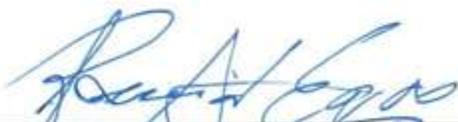
## AUTORIZACIÓN

Yo, Oswaldo David, Egas Posso

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Evaluación y Selección de una estrategia de manejo de inventario en IMETRILEC Cia. Ltda.**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2015

EI AUTOR:



---

Oswaldo David Egas Posso



## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera agradecer a mi familia por el apoyo incondicional, a nuestra tutora, a IMETRILEC LTDA, y a las personas que fueron parte de esta etapa académica que fueron una guía para poder culminar con esta fase importante en la vida.

Oswaldo David Egas Posso

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a nuestra tutora y todos aquellos que contribuyeron a mi desarrollo académico y profesional, lo cual me ha brindado la oportunidad de desarrollar y poner en práctica nuevos conocimientos en el transcurso de este trabajo.

Fernando Andrés Caiza Preciado

## ÍNDICE GENERAL

Antecedentes .....	xvii
Definición de Objetivos .....	xxiv
Objetivo General .....	xxiv
Objetivos Específicos .....	xxiv
Definición del problema .....	xxv
Justificativo .....	xxv
<b>CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>27</b>
1.1 Introducción .....	27
1.2 Definición de la administración de la Cadena de Suministros .....	29
1.3 Función principal de la cadena de suministros .....	30
1.4 Las funciones de la logística dentro de la Administración de la cadena de suministros ...	30
1.5 Procesamiento de pedidos .....	30
1.6 Inventario .....	31
1.6 Política de inventario .....	32
1.7 Pronostico de la demanda en una cadena de suministro .....	32
1.7.2 Tipos de métodos de pronóstico .....	33
1.7.2.1 Métodos Cualitativos .....	33
1.7.2.2 Series de tiempo .....	33
1.7.2.3 Causales .....	33
1.7.2.4 Simulación .....	34
1.7.2.5 Proceso básico para pronosticar la demanda .....	34
1.7.2.6 Métodos de pronóstico y aplicaciones en base a formas de la demanda .....	34
1.8 Medidas del Error del pronóstico .....	34
1.8.1 Error Cuadrático Promedio (MSE) .....	35
1.8.2 Desviación absoluta media (MAD) .....	35
1.8.3 Error absoluto porcentual (MAPE) .....	36
1.8.4 Sumatoria de los errores Corrientes de pronóstico (RSFE/Bias) .....	36
1.9 Estrategias de manejo de Inventario .....	36
1.9.1 Sistema Push .....	36

1.9.2 Sistema Pull .....	37
1.9.3 Control avanzado de inventarios por demanda (Pull).....	37
1.9.4 Sistema de revisión continúa.....	38
1.9.5 Sistema de revisión periódica.....	38
<b>CAPITULO 2: DIAGNOSTICO PREVIO AL DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS DE SISTEMA DE REABASTECIMIENTO .....</b>	<b>39</b>
2.1 MARCO METODOLOGICO .....	39
2.2 Generalidades de los transformadores y autotransformadores .....	41
2.3 Proceso de producción de los transformadores y autotransformadores .....	43
2.3.1 Diseño .....	44
2.3.2 Preparación de materiales.....	46
2.3.3 Bobinado .....	46
2.3.4 Ensamblado .....	46
2.3.5 Prueba y Embalaje .....	46
2.3.6 Entrega.....	47
2.4 Análisis de tiempos de producción por línea de productos .....	47
2.4.1 Análisis de tiempos de producción por procesos de los transformadores .....	47
2.4.2Tiempos de Producción de los transformadores y autotransformadores Monofásicos .....	48
2.4.3 Tiempos de Producción de los transformadores y autotransformadores Trifásicos ..	50
2.6 Descripción de los materiales y análisis de Inventario.....	52
2.6.1 Láminas de acero no granulado .....	53
2.6.2 Descripción de los tipos de láminas de acero y análisis ABC por consumo promedio y por comportamiento de compras promedio.....	54
2.6.3 Láminas y alambres esmaltados de cobre.....	61
2.7 Comportamiento De La Demanda De Los Transformadores Y Autotransformadores .....	64
2.7.1Transformadores y autotransformadores monofásicos .....	66
2.7.2 Transformadores y autotransformadores trifásicos .....	67
<b>CAPITULO 3: EVALUACION Y SELECCIÓN DE METODOS DE PRONÓSTICO PREVIO AL DESARROLLO DEL SISTEMA DE MANEJO DE INVENTARIO .....</b>	<b>69</b>

4.1 Objetivo del Pronóstico .....	69
3.2 Integración de la planificación Agregada y Pronóstico de la demanda en el producto ....	69
3.3 Utilización de métodos de pronósticos para determinación del método adecuado de pronóstico .....	71
3.3.1 Transformadores y Autotransformadores Monofásicos .....	71
3.3.2 Transformadores y Autotransformadores Trifásicos.....	81
3.4 Evaluación y selección de métodos de pronósticos.....	89
3.4.1 Método de pronóstico para los Transformadores y Autotransformadores Monofásicos .....	89
3.4.2 Método de pronóstico para los Transformadores y Autotransformadores Trifásicos..	91
<b>CAPITULO 4: DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL Y MANEJO DE INVENTARIOS ..</b>	<b>93</b>
4.1 Recopilación de la información pertinente previo al desarrollo de la estrategia.....	93
4.2 Determinación de los métodos de pronóstico .....	96
4.2.1 Pronósticos de consumo de las libras de acero y cobre por línea de productos .....	96
4.3 Determinación del nivel de servicio adecuado previo al cálculo de las formulas del Punto de Reorden .....	99
4.4 Cálculo del Punto de Reorden en línea de materiales Categoría A .....	101
4.4.1 Alambres de Cobre .....	102
4.4.2 Cálculo del punto de reorden en las Láminas de acero no granulado.....	104
<b>CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>107</b>
Políticas de manejo y control de Inventarios.....	113
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2: Categorización de línea de productos (Sistema ABC) .....	xxiii
Tabla 3: Resumen de estadísticas: tiempos totales (transformadores y autotransformadores monofásicos) .....	49
Tabla 4: Resumen de estadísticas (total de horas de transformadores y autotransformadores trifásicos) .....	52
Tabla 5: Análisis ABC por laminas de acero fase 1 (consumo promedio) .....	56
Tabla 6 Categorización de las láminas de acero fase 1 (consumo promedio) .....	56
Tabla 7 Análisis ABC por láminas de acero fase 1 (compras promedio) .....	57
Tabla 8: Categorización por láminas de acero fase 1 (compras promedio) .....	58
Tabla 9: Categorización de las láminas fase 3 por consumo promedio .....	59
Tabla 10: Categorización de la laminas fase 3 por compras promedio .....	59
Tabla 11: Resumen de estadísticas: tiempo de llegada del acero .....	61
Tabla 12: Resumen de estadísticas: tiempo de llegada del cobre .....	63
Tabla 13: Tiempos promedio por procesos de producción y desviación estándar del total de horas .....	70
Tabla 14: Resumen de resultados Promedio móvil simple (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos) .....	73
Tabla 15: Resumen de resultados Promedio móvil ponderado (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos) .....	75
Tabla 16: Resumen de resultados Suavizados exponenciales (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos) .....	77
Tabla 17: Resumen de resultados Modelo de Holt-Winters (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos) .....	80
Tabla 18: Resumen de resultados Promedio móvil simple (ratios de nivel de error transformadores y autotransformadores trifásicos) .....	82
Tabla 19: Resumen de resultados Promedio móvil ponderado (ratios de nivel de error transformadores y autotransformadores trifásicos) .....	84
Tabla 20: Resumen de resultados Suavizado Exponencial (ratios de nivel de error transformador y autotransformadores trifásicos) .....	85
Tabla 21: Resumen de resultados Modelo Holt-Winters (ratios de nivel de en transformadores y autotransformadores trifásicos) .....	88
Tabla 22: Tabla con los resultados de cada pronóstico consolidado en relación al nivel de error y aceptación (transformadores y autotransformadores monofásicos) .....	90

Tabla 23: Tabla con los resultados de cada pronóstico consolidado en relación al nivel de error y aceptación (transformadores y autotransformadores trifásicos).....	91
Tabla 24 Láminas de acero fase 1 no granulado clase A.....	94
Tabla 25 Láminas de acero no granulado fase 3 Clase A.....	94
Tabla 26 Alambres de cobre clase A .....	95
Tabla 27: Pronóstico ajustado anual de cobre en transformadores y autotransformadores monofasicos .....	97
Tabla 28 Pronostico ajustado anual cobre en trans. y auto monofásicos .....	97
Tabla 29: Pronóstico ajustado anual en cobre para trans. y auto. trifasicos .....	98
Tabla 30: Pronóstico ajustado anual en acero para trans. y auto. trifásicos .....	98
Tabla 31: Tabla decisión con respecto al nivel de servicio deseado .....	101
Tabla 32: Cálculo de las formulas correspondientes al Sistema de Manejo y control Q (cobre) .....	103
Tabla 33: Cálculo del costo pertinente total en alambres de cobre.....	104
Tabla 34: Cálculo de las formulas correspondientes al Sistema de Manejo y control Q (acero fase 1) .....	105
Tabla 35: Cálculo de las formulas correspondientes al Sistema de Manejo y control Q (acero fase 3) .....	105
Tabla 36: Calculo del costo pertinente total (acero fase 1) .....	106
Tabla 37: Cálculo del costo pertinente total (acero fase 3) .....	106
Tabla 38 Comparación de costos unitarios en trans. y auto. monofásicos .....	111
Tabla 39: Comparación en costos unitarios en trans. y auto. trifásicos .....	112

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Curva de crecimiento anual de ventas total (2008-2014).....	xix
Ilustración 2 Diagrama de Pareto por línea de productos (2008-2014).....	xx
Ilustración 3: Diagrama de flujos por procesos de producción .....	43
Ilustración 4: Diagrama de distribución normal del tiempo de horas .....	49
Ilustración 5: Diagrama de dispersión por total de horas ajustadas en transformadores y autotransformadores trifasicos .....	52
Ilustración 6: Diagrama de dispersión del tiempo de llegada del acero .....	60
Ilustración 7: Diagrama de dispersión del tiempo de llegada del cobre .....	63

Ilustración 8: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre (trans. Monofásicos).....	67
Ilustración 9: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre ( Trans. Monofásico).....	67
Ilustración 10: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre (Trans. Trifásico) .....	68
Ilustración 11: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre ( Trans. Trifásico) .....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Categorización de los alambres de cobre por compras promedio (Análisis ABC) ....	121
Anexo 2: Categorización de los cables de cobre por compras promedio (sistema ABC).....	123
Anexo 3: Cuadro de la demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos (2013-2015).....	125
Anexo 4: Cuadro de la demanda de los transformadores y autotransformadores trifásicos (2013-2015) .....	126
Anexo 5: Promedio Móvil Simple (5meses) Trans. Monofásicos .....	127
Anexo 6: Demanda versus promedio móvil simple (cobre) en transformadores y autotransformadores monofásicos .....	129
Anexo 7: Demanda versus promedio móvil simple (acero) en transformadores y autotransformadores monofásicos .....	129
Anexo 8: Promedio Movil Ponderado (cobre) trans./ Auto monofásicos .....	130
Anexo 9: Promedio Móvil Ponderado (acero) trans./ Auto monofásicos .....	131
Anexo 10: Demanda real versus promedio móvil ponderado (cobre) en trans. y auto. monofásicos .....	132
Anexo 11: Demanda real versus promedio móvil ponderado (cobre) en trans. y auto. monofásicos .....	132
Anexo 12: Ajuste exponencial para transformadores y autotransformadores monofásicos .....	133
Anexo 13 Demanda real versus suavizado exponencial (cobre) en trans. y auto monofásicos	135
Anexo 14: Demanda real versus suavizado exponencial (acero) en trans. y auto monofásicos .....	135
Anexo 15: Método de Holt Winters para transformadores y autotransformadores monofásicos .....	136

Anexo 16: Demanda real versus método de Holt Winters (cobre) en trans. y auto monofásicos .....	138
Anexo 17: : Demanda real versus método de Holt Winters (acero) en trans. y auto monofásicos .....	138
Anexo 18: Promedio Móvil simple en transformadores y autotransformadores trifásicos .....	139
Anexo 19: Demanda real versus promedio móvil simple (cobre) para trans. y auto. Trifásicos	141
Anexo 20: Promedio móvil simple versus demanda real (acero) para trans. y auto trifásicos....	141
Anexo 21: Promedio móvil ponderado en transformadores y autotransformadores trifásicos...	142
Anexo 22 Promedio móvil ponderado en transformadores y autotransformadores trifásicos (acero).....	143
Anexo 23: Demanda real versus promedio móvil ponderado (cobre) para trans. y auto trifásicos .....	144
Anexo 24: Demanda real versus promedio móvil ponderado (acero) para trans. y auto trifásicos .....	144
Anexo 25: Suavizado Exponencial en los transformadores y autotransformadores trifásicos...	145
Anexo 26: Demanda real versus suavizado exponencial (cobre) en trans. y auto trifásicos .....	147
Anexo 27: Demanda real versus suavizado exponencial (acero) en trans. y auto trifásicos .....	147
Anexo 28: Método de Holt Winters en transformadores y autotransformadores trifásicos .....	148
Anexo 29: Demanda real versus método de Holt Winters (cobre) en trans. y auto. Trifásicos..	150
Anexo 30: Demanda real versus método de Holt Winters (acero) en trans. y auto. Trifásicos..	150
Anexo 31: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de alambres de cobre tipo A con y sin pronóstico de la demanda .....	151
Anexo 32: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de laminas de acero fase 1 tipo A con y sin pronóstico de la demanda .....	153
Anexo 33: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de láminas de acero fase 3 tipo A con y sin pronóstico de la demanda .....	155

## RESUMEN

Imetrilec LTDA es una empresa nacional que produce y comercializa equipos eléctricos centrados en la pequeña y mediana industria. Por otro lado, dentro de la empresa hay una forma empírica de llevar a cabo **estrategias de compra** y dentro de la alta dirección no se ha concebido un efectivo **sistema de gestión de inventario**.

Por esa razón, se decidió desarrollar una **estrategia de inventario** adecuado que pudiera satisfacer las necesidades de la organización.

En primera instancia, se realizó un diagnóstico para verificar el **comportamiento de la demanda** de los productos seleccionados, así como un **análisis de inventario**, y los diferentes métodos de pronóstico fueron probados y evaluados utilizando **errores de pronóstico** a fin de seleccionar una técnica viable. La técnica de pronóstico más adecuado fue el **método de Holt Winters**. Usando este método, se estimó la demanda y la **estrategia de inventario Q** fue seleccionada. A través de esta estrategia, se desarrollaron **políticas de inventario** como una forma de optimizar los recursos.

**Palabras Claves:** Estrategias de compra, sistema de gestión de inventario, estrategia de inventario, comportamiento de la demanda, análisis de inventario, errores de pronóstico, método de Holt Winters, estrategia de inventario Q, políticas de inventario

## ABSTRACT

Imetrilec PLC. is a national company that produces and commercializes electric equipment aimed to small and middle industry. Nevertheless, inside the firm there is an empirical form of conducting ***purchasing strategies*** and inside the top management has not been conceived an effective ***inventory management system***. For that reason; it was decided to develop a proper ***inventory strategy*** that could satisfy the needs in the organization.

At first instance, it was conducted a diagnose to verify the ***demand behavior*** of the selected products, as well as an ***inventory analysis***, and different ***forecasting methods*** were tested and evaluated using ***forecasting errors*** in order to select a viable technique. The most adequate forecasting technique was ***Holt Winters method***. Using this method, the demand was estimated and ***The Inventory strategy Q*** was selected. Through this strategy, ***inventory policies*** were developed as a form to optimize resources.

**Clue Words:** Purchasing strategies, inventory management system, inventory strategy, demand behavior, inventory analysis, forecasting methods, Holt Winters method, Inventory strategy Q, inventory policies.

## RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Imetrilec Ltda. c'est une firme nationale qui produit et vend des équipements électriques destinés à la petite et moyenne industrie. D'autre part, au sein de la société, il y a un moyen empirique pour effectuer des **stratégies d'achat** et les cadres n'ont pas conçu un **système de gestion d'inventaire** efficace.

Pour cette raison, il a été décidé d'élaborer une **stratégie d'inventaire** appropriée qui pourrait répondre aux besoins de l'organisation. En première instance, on a développé un diagnostic pour vérifier le **comportement de la demande** des produits sélectionnés et une **analyse de l'inventaire**. En plus, on a testé différentes **méthodes de prévision** en utilisant les **coefficients d'évaluation de pronostics** pour sélectionner une technique viable.

La technique de prévision, la plus appropriée, était la **méthode de Holt Winters**. En utilisant cette méthode, la demande a été ciblée et la **stratégie de l'inventaire Q** a été sélectionnée. Grâce à cette stratégie, il y a été possible de créer des politiques d'inventaire comme un moyen d'optimiser les ressources.

**Mots-Clés:** Stratégies d'achat, système de gestion d'inventaire, stratégie d'inventaire, comportement de la demande, méthodes de prévision, coefficients d'évaluation de pronostics, méthode de Holt Winters, stratégie de l'inventaire Q, politiques d'inventaire

# INTRODUCCION

## Antecedentes

Imetrilec Ltda. Es una PYME formada en 1994 por el Ms. Mario Egas y la Ing. Rosa María Egas que fabrica y comercializa una gama de equipos eléctricos y electrónicos con mano de obra ecuatoriana y personal calificados en ingeniería eléctrica para el diseño y monitoreo de proyectos eléctricos que pueden ser realizados diferentes sectores dentro del mercado ecuatoriano.

La empresa nació bajo la idea del Ms. Mario Egas de crear una empresa que produzca su propia línea de equipos eléctricos y electrónicos, lo cual era inexistente dentro del mercado ecuatoriano debido a que la gran mayoría de tales equipos son importados de distintas partes del mundo como estados unidos, Colombia entre otros.

Esta idea creó una ventaja comparativa por el motivo que los precios promedio de los productos similares que ofrecen sus competidores son altos al considerar los costos logísticos. Dentro de la matriz de ingresos se encuentran las siguientes líneas de productos y servicios:

- Equipos de fabricación y proyectos
- Transformadores y autotransformadores tipo seco monofásicos y trifásicos
- Cargadores automáticos de baterías “Hércules”
- Fuentes de poder AC-DC
- Rectificadores AC-DC
- Convertidores DC-DC

Reguladores monofásicos y trifásicos.

- Energía alternativa:
- Reguladores de carga solar
- Inversores de voltaje DC-AC
- Proyectos de sistemas combinados de energías alternativas, utilizando recursos existentes. Ej. Generadores de Luz combinados con Energía fotovoltaica.

Proyectos de energía eólica:

- Protección contra descargas eléctricas atmosféricas directas e indirectas:
    - Pararrayos tipo franklin “Júpiter”
    - Pararrayos ionizantes “Sparker”
    - Pararrayos Ícaro una sola punta.
  - Jaulas de Faraday.
    - Aisladores especiales
    - Supresores de transigentes
  - Bobinas de choque
  - Electrodoos activos
  - Materiales para sistemas de puesta a Tierra.
- 
- Medicina Alternativa fabrican:
  - Equipo de Magnetoterapia
  - Instalación y ejecución de proyectos de media y baja tensión (IMETRILEC LTDA, 2013).

### **Misión de la empresa**

Fabricar equipos eléctricos y electrónicos con tecnología propia de la mejor calidad para satisfacer la necesidad de los clientes. Todo esto basado en el trabajo en equipo, conciencia y responsabilidad ambiental mediante la capacitación permanente del personal y en el marco de un proceso de organización administrativa, eficiente y rentable. (IMETRILEC LTDA, 2013)

### **Visión**

*“Consolidarnos como empresa líder en el mercado nacional en la fabricación y comercialización de equipos eléctricos y electrónicos con calidad de exportación en mediano plazo, dentro de un marco de cultura de protección al medio ambiente”. (IMETRILEC LTDA, 2013)*

Para alcanzar la visión de la empresa es necesario tener en consideración que la líneas de productos deben seguir estándares de calidad internacional, para así poder ser exportadas a clientes de otros países del mundo. En base a este

análisis realizado permitirá a la empresa proceder a realizar una certificación de calidad en procesos de producción desde el punto de vista de abastecimiento, que es parte de la gestión de calidad y contribuir con la visión de la empresa.

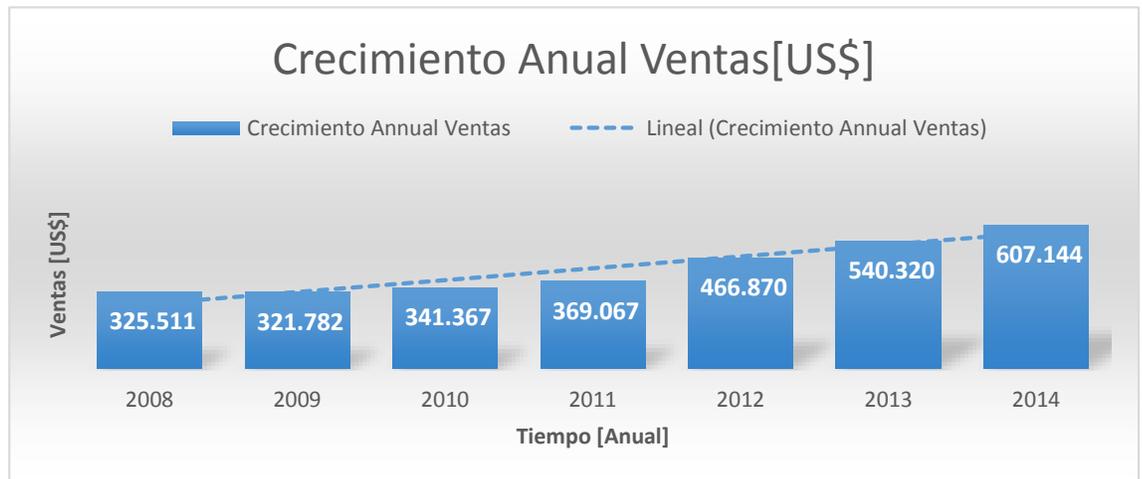


Ilustración 1: Curva de crecimiento anual de ventas total (2008-2014)

*Fuente: Historico de Ventas Imetrilec*

Posteriormente, la empresa ha decidido entrar en el mercado de importación de productos para proyectos de ingeniería eléctrica y electrónica para competir con las importadoras existentes. Las ventas de la empresa siguen una tasa de crecimiento promedio considerando los últimos 7 años de 11% y siguen una tendencia lineal positiva.

No obstante, dentro del análisis de Pareto del volumen ventas/dólares, (2008-2014). Se pudo observar que la línea de transformadores, equipos no fabricados (productos importados, cargadores de baterías, pararrayos representan el 82,49% del volumen de ventas de la empresa (volumen de ventas/dólares) Este análisis se llevó a cabo, considerando una estimación de

porcentaje de participación relativa de ventas promedio, por línea de productos, en función de tiempo (2008-2014).

Los transformadores representan el 25.67% de las ventas promedio de los últimos 6 años, seguidos por los pararrayos que representan el 12% de los ingresos anuales y debido a la complejidad del análisis de la producción de los cargadores (representan el 20% de los ingresos anuales) y a la diversidad de materiales de producción de cada línea de productos, bajo a la recomendación del análisis por la empresa se sugirió el análisis de las dos líneas ya indicadas.

Estas líneas de productos se tomaran en consideración como una muestra la la evaluación y funcionamiento de las estrategias de inventario, y por medio de sus resultados, se utilizaran para la selección de estrategias de manejo en el resto de productos.

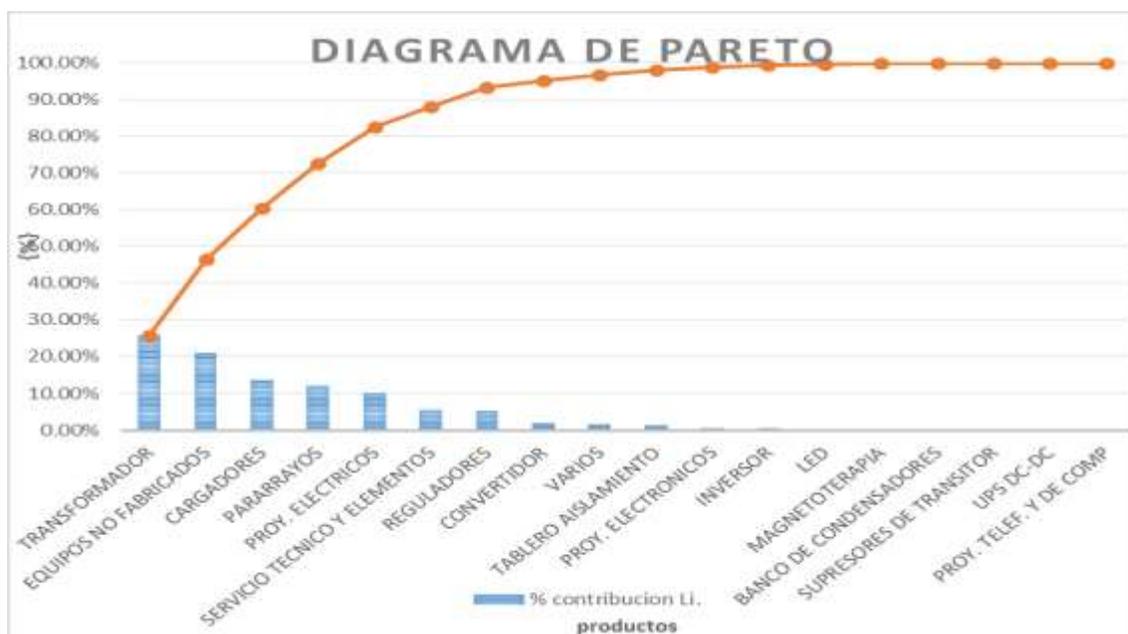


Ilustración 2 Diagrama de Pareto por línea de productos (2008-2014)

**Tabla 1** Análisis de Pareto por línea de productos

Línea de productos	% contribución Li.	% acumulación
TRANSFORMADOR	25.67%	25.67%
EQUIPOS NO FABRICADOS	20.97%	46.64%
CARGADORES	13.77%	60.41%
PARARRAYOS	12.07%	72.48%
PROY. ELECTRICOS	10.01%	82.49%
SERVICIO TECNICO Y ELEMENTOS	5.57%	88.05%
REGULADORES	5.35%	93.40%
CONVERTIDOR	1.76%	95.16%
VARIOS	1.66%	96.83%
TABLERO AISLAMIENTO	1.33%	98.16%
PROY. ELECTRONICOS	0.62%	98.78%
INVERSOR	0.57%	99.35%
LED	0.32%	99.67%
MAGNETOTERAPIA	0.15%	99.83%
BANCO DE CONDENSADORES	0.10%	99.93%
SUPRESORES DE TRANSITOR	0.05%	99.98%
UPS DC-DC	0.02%	100.00%
PROY. TELEF. Y DE COMP	0.00%	100.00%

Fuente: Histórico de Ventas por productos

Tabla 2 Categorización de línea de productos (Sistema ABC)

HISTORICO	
RUBROS	C. Gral.
BANCO DE CONDENSADORES	C
CARGADORES	A
CONVERTIDOR	B
EQUIPOS NO FABRICADOS	A
INVERSOR	C
LED	C
MAGNETOTERAPIA	C
PARARRAYOS	A
PROY. ELECTRICOS	B
PROY. ELECTRONICOS	C
PROY. TELEF. Y DE COMP	B
REGULADORES	B
SERVICIO TECNICO Y ELEMENTOS	B
SUPRESORES DE TRANSITOR	C
TRANSFORMADOR	A
VARIOS	B

Fuente: Histórico de Ventas Imetrilec

### Categorización de línea de productos (Sistema ABC)

<b>Línea de Productos A:</b>	<b>Línea de Productos B:</b>	<b>Línea de Productos C:</b>
1. Cargadores 2. Equipos no fabricados 3. Pararrayos 4. Transformadores	1. Varios 2. Reguladores de voltaje 3. Supresores de transitar 4. Convertidores 5. Proyectos eléctricos	1. Inversores 2. Equipos LED 3. Equipos de magnetoterapia 4. Bancos de condensadores

## **Definición de Objetivos:**

### **Objetivo General**

Diseñar una estrategia de manejo de inventario viable para la optimización de recursos de en la línea de producción.

### **Objetivos específicos:**

- Analizar la situación actual de la empresa para entender sus necesidades dentro del sistema de abastecimiento.
- Realizar un diagnóstico previo a cada una de las líneas de producción seleccionadas
- Desarrollar y evaluar varios métodos de pronóstico de la demanda
- Seleccionar el método óptimo de pronóstico para cada línea de producto seleccionado
- Diseñar una estrategia de manejo de inventario
- Crear políticas de inventario viables para las líneas de producto seleccionadas

## **Definición del problema**

Imetrilec Ltda. Actualmente sufre un problema consecuente a la planificación del inventario, derivado por un pronóstico empírico (cualitativo) de la demanda y en base a esta estimación que tiene un margen de error representativo, conduce a una planificación para la adquisición de inventarios en materiales y en líneas de productos sobreestimados y subestimados.

En segundo lugar, la compañía tiene una gama muy amplia de productos, de los cuales la Vice-presidenta deben seleccionar los más representativos y dejar de producir el resto de productos que no tienen mercado, o producir dicha gama de productos si existe una demanda representativa, enfocando su producción y planeación a la gama de productos que tienen mayor participación de volumen de ventas y rentabilidad por línea.

En tercer lugar, a nivel gerencial de la empresa, no existen estrategias de manejo de inventario que estén orientadas a cada una de la líneas de productos, que les permita tener una percepción del comportamiento de la demanda de cada producto real.

## **Justificativo**

La administración de la cadena de suministro es de vital importancia y base de análisis previo al desarrollo de las actividades operativas de la empresa, permitiendo una planificación, desarrollo, evaluación y control de un abanico de decisiones que corresponden a las funciones logísticas claves dentro de la cadena como el manejo de inventario, transporte, adquisición de inventarios, diseño de planta y selección de redes de distribución. En este caso dentro del

manejo de inventario la selección de un pronóstico de demanda y una correcta planificación de compras , permite a la gerencia determinar de manera correcta los niveles de demanda tomando en consideración su margen de error, y planificar internamente con los actores internos de la empresa ( compras, mano de obra,) la adquisición de los materiales en base a los niveles pronosticados y finalmente planificar los tiempos de producción con sus variables y costos para mejorar la productividad de la empresa.

Al mejorar la productividad de la empresa se podría derivar a una mejora significativa el rendimiento económico de la empresa, debido a que la producción se ajusta al comportamiento de la demanda que ha sido previamente analizado y se evitaría perdidas por faltas de inventario o sobre stock de inventario.

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Introducción

Dentro de este mundo competitivo, las pequeñas, medianas y grandes empresas deben estar preparadas además de estar constante mejora para sobrevivir en el mercado. Las empresas que saben administrar de manera eficiente sus recursos pueden ser más productivas y crear una ventaja competitiva con respecto a la competencia, optimizando su producción, para así obtener mayores beneficios. La administración de cadena de suministros o SCM<sup>1</sup> (*Supply Chain Management*) es una amplia rama de planificación, evaluación y control que si no es llevada de una manera correcta puede llevar a una empresa así sea pequeña o una corporación sin considerar su tamaño a un profundo fracaso, debido a que está conformada por un sinnúmero de decisiones que tienen una amplia correlación con las actividades clave de la empresa como su producción, financiamiento, planificación de la demanda, políticas de adquisición y manejo de inventario, evaluación y control de métodos de transporte.

En otros términos, si existe algún problema dentro de las funciones esenciales de la cadena de valor de la empresa, debido a la toma incorrecta de decisión, dentro de los estados financieros existirían pérdidas por costo de

---

<sup>1</sup> “Gestión de la cadena de suministro es la racionalización de las actividades de un negocio de la oferta para maximizar el valor del cliente y obtener una ventaja competitiva en el mercado” (“Supply Chain Management (SCM) Definition | Investopedia,” n.d.)

oportunidad y por gastos excesivos dentro las áreas de interés de la empresa, como *stockouts*,<sup>2</sup> y *markouts*<sup>3</sup> o un aumento elevado de *Stock Keeping Units*.<sup>4</sup>

Entre los problemas que generan un aumento innecesario de costos logísticos podemos mencionar: costo de oportunidad, una mayor tasa de costo de manejo de inventario dentro de la aduana, aumento del tiempo de tránsito del inventario, o un aumento de costos de transporte para solventar la falta de inventarios.

Estas faltas de inventario pueden estar ligadas a la adquisición de materiales para la producción de productos clave) y podrían retrasar la producción, al retrasar la producción los costos fijos y variables pueden aumentar y el margen de rentabilidad del producto podría disminuir. La empresa al encontrarse en un problema por retraso de recepción se sentiría entre la espada y la pared y tomaría decisiones apresuradas como selección de métodos de transporte para la recepción de inventario que aumentarían el *lead time*<sup>5</sup> de la entrega del producto final al consumidor o cliente.

Muchas empresas que adaptaron sus operaciones a un sistema adaptable a sus necesidades los han llevado a un crecimiento y estabilidad dentro del mercado alcanzando un nivel de servicio adecuado para sus clientes, y consiguiendo precios estratégicos en relación con sus competidores, trabajando en conjunto con sus proveedores, reduciendo los costos operativos y alcanzando

---

<sup>2</sup> "Una situación en la que la demanda o requerimiento de un artículo no puede ser cumplida desde el actual inventario" ("What is stockout? definition and meaning," n.d.)

<sup>3</sup> "Cuando el elemento ordenó muestra la cantidad en la mano, pero el selector no es capaz de encontrar la cantidad esperada" ("Support-Logistics Words," n.d.)

<sup>4</sup> "Un número asignado a un producto por una tienda al por menor para identificar el precio, las opciones de productos y el fabricante de la mercancía" ("What Does SKU Mean? - Definition and Examples," n.d.).

<sup>5</sup> "...es el tiempo entre el inicio de un proceso y su finalización".

un *Return on Investment*<sup>6</sup> que satisface la inversión y que conlleva satisfacer ese nivel de servicio, teniendo en cuenta que un mayor nivel de servicio conlleva una inversión considerable dentro de sus operaciones.

El grado de efectividad de la implementación y la gestión de cadena de suministros es significativa debido a que crea una cadena de valor uniendo los factores internos de la organización (producción, ventas, finanzas, marketing) con los factores externos de la organización (red de clientes, proveedores). En estos claros ejemplos encontramos la gran importancia de la cadena de suministros.

Este trabajo de titulación, se centrará en el estudio sistemático de la situación actual de la empresa seleccionada, con respecto a su sistema de realización de pedidos y reabastecimiento y en base a las necesidades que afronta, se diseñará un modelo adaptable para el correcto manejo de sus recursos, como la selección de estrategias de inventario, selección de métodos adecuados de pronóstico y planificación de la demanda, y estrategias de manejo de inventario dentro de las líneas de productos específicas.

## **1.2 Definición de la administración de la Cadena de Suministros**

Donald J. Bowersox (2007) estableció en su libro que la administración de la cadena de Suministros, consiste en la colaboración entre las empresas que persiguen un posicionamiento estratégico común y pretenden mejorar su eficiencia cooperativa.

---

<sup>6</sup> “..es un método de evaluación financiera que determina el porcentaje de retorno que los inversionistas reciben de su portafolio de inversiones” (“How to Calculate Return on Investment (ROI),” n.d.).

### **1.3 Función principal de la cadena de suministros**

La función principal de la cadena de suministros es crear una sinergia interdependiente dentro las funciones o departamentos descentralizados de la empresa para alcanzar objetivos específicos como servicio al cliente, calidad del producto o servicio, optimización de beneficios económicos y mitigación de costos (Bowersox, Closs, & Cooper, 2007)

### **1.4 Las funciones de la logística dentro de la Administración de la cadena de suministros**

*“Funciones:*

- *Procesamiento de pedidos*
- *Inventario*
- *Transporte*
- *Almacenamiento, manejo de materiales y empaçado*
- *Diseño de planta”* (Bowersox et al., 2007, pg26-30)

(En base a nuestro tema de titulación, se enfocara conceptualmente en el procesamiento de pedidos e inventario.)

### **1.5 Procesamiento de pedidos**

El procesamiento de pedidos es uno de los pilares fundamentales dentro de las funciones logísticas de la cadena de suministros. Esta función está directamente correlacionada con la tecnología de información que maneja los requerimientos del cliente y con el equilibrio del flujo de trabajo para realizar los procesos posteriores hasta la recepción del producto por parte de los canales de distribución.

En el procesamiento de pedidos, la predicción y la comunicación son factores que están íntimamente ligados a las tecnologías de información. Estas variables son pilares para concebir un sistema predictivo o reactivo.

## 1.6 Inventario

El manejo del inventario es un factor de suma relevancia dentro de las funciones logísticas de la cadena de suministros. El inventario es el capital de trabajo que ofrece la rentabilidad de la empresa al comercializarse en los canales de distribución. Por este motivo este capital maneja un riesgo económico debido a que un aumento innecesario de inventario conlleva a un aumento de gastos financieros por la adquisición y manejo de ese inventario.

Al mantenerse en stock, existe un riesgo que esa cantidad de inventario se convierta en una línea de baja rotación, la empresa mantiene un inventario innecesario que a largo plazo puede ser tomado como pérdida, debido al costo de oportunidad, considerando que este valor económico invertido dentro de este producto pudo ser aprovechado para la adquisición de otra línea de productos o invertido en activos con mayor rentabilidad (Ballou & Mendoza Barraza, 2004; Bowersox et al., 2007; Chopra, Meindl, Fernandez Molina, & Carril Villarreal, 2008)

***Para evitar markouts en líneas de baja rotación y rentabilidad y stockouts en línea de mayor rotación y alta rentabilidad de la empresa es necesario diseñar un conjunto de estrategias logísticas orientadas en el manejo de inventario.***

Las empresas deben diseñar estrategias logísticas que mantengan la inversión financiera más baja posible en el inventario y considerar como meta principal alcanzar una rotación máxima de cada línea de productos para reducir el riesgo financiero de adquirir y finalmente comercializar ese inventario.

Bowersox (2007) establece que las estrategias de inventario se basan en la agrupación de 5 aspectos de desarrollo:

1. *Segmentación de los clientes fundamentales*
2. *Rentabilidad de los productos*
3. *Integración del transporte*
4. *Desempeño basado en el tiempo*

## 5. *La práctica competitiva*".

### **1.7.1 Componentes de un pronóstico y métodos para pronosticar**

Las compañías deben equilibrar los factores objetivos y al pronosticar la demanda. Algunos factores se enumeran a continuación:

- *“Demanda pasada*
- *Tiempo de entrega del producto*
- *Publicidad planeada o campañas de marketing*
- *Estado de la economía*
- *Descuentos de precio planeados*

*Acciones que los competidores han tomado”*(Chopra et al., 2008, pg 189-190).

### **1.6 Política de inventario**

Las políticas de inventario podrían considerarse como el conjunto de lineamientos, planteados y revisados para su ejecución dentro de la cadena de suministros que puntualizan y definen los productos que se fabricaran, la compra y movilización de materiales, el posicionamiento geográfico para su respectiva distribución.

Es esencial que para redactar un modelo de políticas de inventario, se debe de realizar con anticipación un estudio sistemático de la rentabilidad de los productos y aplicar una política selectiva según su comportamiento y rendimiento en la empresa (Bowersox et al., 2007; Chopra et al., 2008)

### **1.7 Pronóstico de la demanda en una cadena de suministro**

Todos los procesos de empuje o modelos predictivos en la cadena se realizan con anticipación a la demanda del cliente, mientras que todos los

procesos de tirón o modelos reactivos se realizan en respuesta a la demanda del cliente. Para los procesos de empuje, el gerente debe planear el nivel de actividad ya sea producción, el transporte o en cualquier actividad planeada (Bowersox et al., 2007)

En ambos ejemplos, el primer paso que deber tomar es pronosticar cual será la demanda del cliente.

## **1.7.2 Tipos de métodos de pronóstico**

### **1.7.2.1 Métodos Cualitativos**

Los métodos cualitativos, dentro los análisis estadísticos, son fundamentalmente basados en el juicio o la experiencia, son mayoritariamente realizados por personas con un amplio conocimiento del mercado y sus tendencias, permitiéndoles determinar una cuantía aleatoria de la demanda que puede ser relativamente precisa con respecto a la realidad (*Bowersox et al., 2007; Chopra et al., 2008; Krajewski, Ritzman, Malhotra, & Krajewski, 2008; Lind, Marchal, & Wathen, 2012*).

### **1.7.2.2 Series de tiempo**

Son métodos cuantitativos, basados en modelos estadísticos, que utilizan un histórico de la demanda o ventas, para pronosticar la demanda futura. Estos patrones de decisión son tomados en relevancia cuando el patrón sistemático de la demanda no varía durante el tiempo o ciclo estudiado (Ballou & Mendoza Barraza, 2004; Bowersox et al., 2007; Chopra et al., 2008; Krajewski et al., 2008; Lind et al., 2012).

### **1.7.2.3 Causales**

Los métodos de pronóstico causales suponen que el pronóstico de la demanda está altamente correlacionado con ciertos factores en el ambiente (macroeconómicos: tasas de interés, el estado de la economía). Los métodos

de pronóstico causales encuentran esta correlación entre la demanda y los factores ambientales para pronosticar demanda futura.

#### **1.7.2.4 Simulación**

Los métodos de simulación son formas de pronosticar creando escenarios con varias técnicas de pronóstico como los métodos causales y series de tiempo.

“Demanda observada= componente sistemático(S)+ componente aleatorio(R)” (Chopra et al., 2008).

#### **1.7.2.5 Proceso básico para pronosticar la demanda**

1. Entender el objetivo del pronóstico
2. Integrar la planeación y el pronóstico de la demanda en la cadena de suministro
3. Determinar la técnica apropiada de pronóstico
4. Establecer medidas de desempeño y error para el pronóstico(Chopra et al., 2008, pg. 191).

#### **1.7.2.6 Métodos de pronóstico y aplicaciones en base a formas de la demanda**

Promedio Móvil.- Aplicable a demanda sin tendencia o estacionalidad

Suavizamiento exponencial simple.- Aplicable a demanda sin tendencia o estacionalidad

Modelo de Holt.-Winters Aplicable a demanda con tendencia sin estacionalidad

Modelo de Winters.- Aplicable a demanda con tendencia y estacionalidad (Ballou & Mendoza Barraza, 2004; Bowersox et al., 2007; Chopra et al., 2008; Krajewski et al., 2008).

### **1.8 Medidas del Error del pronóstico**

Cada tipo de demanda tiene un componente aleatorio, es decir un componente irregular que es difícil predecir. Un buen método de pronóstico debe captar el componente sistemático de la demanda pero no el aleatorio, que consecuente se

manifiesta en sí mismo en la forma de un error de pronóstico (Ballou & Mendoza Barraza, 2004; Chopra et al., 2008; Krajewski et al., 2008).

### 1.8.1 Error Cuadrático Promedio (MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E^2$$

Una medida del pronóstico de error es el error cuadrático medio (MSE). El MSE se relaciona con la varianza del error del pronóstico. En efecto esta fórmula estima que el componente aleatorio de la demanda tiene una media de 0 y una varianza de MSE.

Se calcula, por medio del valor cuadrático de la diferencia entre el pronóstico y el valor real. Luego se procede a encontrar la sumatoria de los valores y al finalizar se calcula el promedio de este valor.

Bajo este sistema de análisis del error del pronóstico se pueden seleccionar que tipo de métodos de pronóstico utilizar para así satisfacer de manera eficaz la demanda y reducir los costos por sobre stock o por falta de stock (Sunil, Meindl, 2008, pg 203).

### 1.8.2 Desviación absoluta media (MAD)

Es el valor promedio de los valores absolutos que se obtienen de la fórmula  $E_t = F_t - D_t$ ; en la cual, el pronóstico del tiempo  $t$  determinado menos la demanda en tal periodo.

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N A_t$$

$$A_t = |E_t|$$

*“Esta fórmula se utiliza para estimar la desviación estándar del componente aleatorio suponiendo que este se encuentra distribuido normalmente”* (Chopra et al., 2008, pg 204).

### 1.8.3 Error absoluto porcentual (MAPE)

“Es el error absoluto promedio, expresado como porcentaje de la demanda...” (Chopra et al , 2008, pg 204).

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{D_t} / 100}{n}$$

### 1.8.4 Sumatoria de los errores Corrientes de pronostico (RSFE/Bias)

Esta fórmula se utiliza para saber si el método se sobreestima o subestima la demanda real.

$$RSFE = \sum_{t=1}^N E_t$$

### 1.8.5 Señal de rastreo (Tracking Signal)

Es el cociente entre la sumatoria de los errores de pronóstico y la desviación absoluta media.

$$TS = \frac{RSFE}{MAD}$$

Si el resultado es +/-6 o más, significa que el pronóstico no es válido, debido a que la curva del pronóstico está muy alejada de la demanda real, en este caso se debe seleccionar otro modelo de pronóstico. Si es negativo quiere decir que la demanda se subestima y si es superior a 0 significa que la demanda se sobrestima. El pronóstico con el valor más próximo a 0 es aquel que su curva de pronóstico, sigue con exactitud el patrón y el nivel de la demanda, considerando su estacionalidad. (Chopra et al ,2008, pg 204).

## 1.9 Estrategias de manejo de Inventario

### 1.9.1 Sistema Push

De acuerdo a la percepción de Ronald Ballou en su libro “Logística” (2004) este sistema de manejo de inventario es apropiado cuando las cantidades de producción o de compra exceden los requerimientos a corto plazo de los inventarios a lo que tienen que enviarse dichas cantidades. Los incrementos

también son un método razonable para el control de los inventarios donde la producción o la compra es la fuerza dominante en el momento de determinar las cantidades de reaprovisionamiento.

Bajo este método, se utilizan sistemas de pronóstico y predicción en base al comportamiento de la demanda en el mercado.

### **1.9.2 Sistema Pull**

Ronald Ballou ( 2004) estableció firmemente que el sistema de control de inventarios de la demanda pull se caracteriza por tener niveles bajos de inventario en los puntos de abastecimiento, debido a las condiciones de la demanda y el costo de cada punto de abastecimiento.

Estos modelos de reabastecimiento de inventarios se aplican cuando la demanda se aplica una sola vez, es altamente estacionaria o perpetua, el pedido que se dispara desde un nivel particular de inventario y cuando existe un alto grado de incertidumbre.

### **1.9.3 Control avanzado de inventarios por demanda (Pull)**

El control avanzado de inventarios por demanda significa que por añadidura se reconoce que la demanda y el tiempo de entrega no se pueden conocer por seguridad. Por lo tanto tenemos que planear para una situación en la que no haya suficientes existencias disponibles para surtir las solicitudes de los clientes. Además de las existencias regular que se mantiene para satisfacer la demanda promedio y el tiempo de entrega promedio se añade una cantidad de incremento de inventario. La cantidad de existencias de seguridad, o amortiguador, fija el nivel de disponibilidad de existencias suministradas a los clientes al controlar la probabilidad de que ocurra falta de existencias (Ballou, 2004).

De acuerdo al libro de Logística (Ballou R., 2004), existen dos métodos para controlar este tipo de demanda: Sistema de revisión continua, método de revisión periódica y MPR (*Material Resources Planning*)

#### **1.9.4 Sistema de revisión continua**

En un **sistema de revisión continua**, la posición del inventario se controla después de cada transacción o en forma continua. Cuando la posición del inventario disminuye hasta un nivel predeterminado, o punto de reorden, se ordena una cantidad fija. Ya que la cantidad de la orden es fija, el tiempo entre las órdenes varía de acuerdo con la naturaleza aleatoria de la demanda. El sistema de revisión continua algunas veces se denomina sistema fijo de la cantidad de la orden, y en otras, sistema Q (Krajewski et al., 2008).

#### **1.9.5 Sistema de revisión periódica**

Un proceso de control perpetuo de inventario revisa constantemente el estado del inventario para determinar las necesidades de reabasto. Para utilizar una revisión perpetua, se requiere un seguimiento preciso de todas las SKU. Esta revisión se implementa por medio de un punto para volver a hacer un pedido y una cantidad del pedido. (Ballou & Mendoza Barraza, 2004; Bowersox et al., 2007; Krajewski et al., 2008; Schroeder, Norton, Orduña Trujillo, Goldstein, & Rungtusanatham, 2011).

## **CAPITULO II**

### **DIAGNÓSTICO PREVIO AL DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS DE SISTEMA DE REABASTECIMIENTO**

#### **2.1 MARCO METODOLÓGICO**

Este trabajo de titulación sigue un modelo de investigación aplicada dentro del cual, se utilizaron teorías específicas del campo de dominio de la administración de la cadena de suministros para determinar el tipo de pronóstico adecuado y medidas para manejar el sistema de abastecimiento actual de la empresa.

Este modelo de investigación es de carácter cuantitativo y exploratorio, en base a que para determinar qué tipo de estrategia de inventario seleccionar para la empresa, es necesario realizar una recopilación de información pertinente relacionada con el tema y determinar un diagnóstico que permita visualizar al lector los problemas reales en cuestión de manejo de inventario.

Para poder crear este diagnóstico, se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Información histórica de la red de productos
- Información histórica de la producción anual por línea de productos ( 3 años)
- Información histórica del inventario pertinente al análisis de cada línea de productos (4 años)
- Información relacionada con la red de clientes de la empresa (4 años)
- Tiempos de producción por procesos de cada línea de productos asignada para nuestro análisis.(3 años)

Esta información fue recopilada del sistema administrativo-contable de la empresa y de registros digitales, otorgados por los miembros de la compañía para poder proceder con la investigación.

Esta información detallada fue procesada por medio de métodos estadísticos para poder culminar con el diagnóstico y proceder al desarrollo del sistema de abastecimiento

- Análisis de Pareto para la determinación de puntos críticos
- Cuadros históricos en función de tiempo y de unidades
- Análisis de estadística descriptiva (media, desviación estándar min y Max)

Con el fin de evaluar y seleccionar el método óptimo de pronóstico de la demanda , se siguió detenidamente el proceso básico de pronóstico descrito y explicado en el libro de “**Administracion en la cadena de suministros**”(sunil,2008):

1. Entender el objetivo del pronóstico
2. Integrar la planeación y el pronóstico de la demanda en la cadena de suministro
3. Entender e identificar los segmentos de clientes
4. Identificar los principales factores que influyen en el pronóstico de la demanda
5. Determinar la técnica apropiada de pronostico
6. Establecer medidas de desempeño y error para el pronostico

Los métodos de pronóstico utilizados son los siguientes

Promedio Movil.- Aplicable a demanda sin tendencia o estacionalidad

Suavizamiento exponencial simple.- Aplicable a demanda sin tendencia o estacionalidad

Modelo de Holt .- Aplicable a demanda con tendencia sin estacionalidad

Modelo de Winter.- Aplicable a demanda con tendencia y estacionalidad

(Sunil, Chopra,2008) (Ballou, R. 2004)

Después de la aplicación de los métodos de pronostico en cada línea de pronósticos, se realizó una evaluación por medio de fórmulas y ratios, empleados por métodos estadísticos para seleccionar el mejor pronóstico con menor margen

de error y mayor aceptación al pronóstico de la demanda (MSE, MAD, RFSE, Tracking Signal)

Por consecuente, una vez seleccionado el método de predicción óptimo se diseñó la estrategia de manejo y control de inventario, usando el pronóstico de demanda ajustado al inventario. En relación al sistema de control y manejo de inventario, se tomó un historial de la información concerniente a los materiales de producción claves para la demostración y aplicación de los métodos.

Esta estrategia de inventario fue calculada por medio del sistema de manejo de Inventario Q (Punto de reorden, Cantidad óptima de pedido, Stock de Seguridad, Cantidad Máxima de Existencias, Cantidad Mínima), por el motivo que este sistema se adapta a las necesidades de la demanda( materiales no perecibles con rotación media de inventario) , a diferencia de otros sistemas como sistema de revisión periódica (mayor rotación de inventario).

Debido a la complejidad técnica para la producción de cada una de las líneas de los productos, derivada por la gran diversidad de materiales para la fabricación de cada uno de estos equipos y su aleatoriedad orientada en términos de cantidades de producción, se tomaran en consideración el análisis sistemático del comportamiento de la demanda de los siguientes productos:

***Transformadores y autotransformadores monofásicos y trifásicos***

## ***2.2 Generalidades de los transformadores y autotransformadores***

Imetrilec Ltda. es una empresa pionera en la fabricación de transformadores tipo seco monofásicos y trifásicos, y autotransformadores. Aptos para uso en hospitales, centros comerciales, edificios, hoteles, etc., El funcionamiento del transformador se basa en los fenómenos de inducción electromagnética.

*“Un transformador elemental está formado por un núcleo de chapas magnéticas al que rodean los devanados primarios y secundarios, estos devanados están cubiertos con un conductor o bobinado”*(“QUÉ ES UN TRANSFORMADOR ELÉCTRICO MONOFÁSICO (o TRAF0),” n.d.).

Los transformadores monofásicos son aquellos que disponen de dos columnas unidas en la parte inferior y superior por medio de un yugo, de la cual en cada una de estas columnas se encuentran incrustadas la mitad del devanado primario y la mitad del devanado secundario. El devanado primario es la bobina principal que recepta el voltaje de entrada dentro del trabajo electromagnético. El devanado secundario es la bobina que en base a cálculos matemáticos, que determinan su número de bobinado, transformarían el voltaje de entrada para su uso específico.

Imetrilec produce transformadores monofásicos de baja tensión de 1 amperio de baja tensión y transformadores 1 amperio tipo seco o sumergido en aceite.

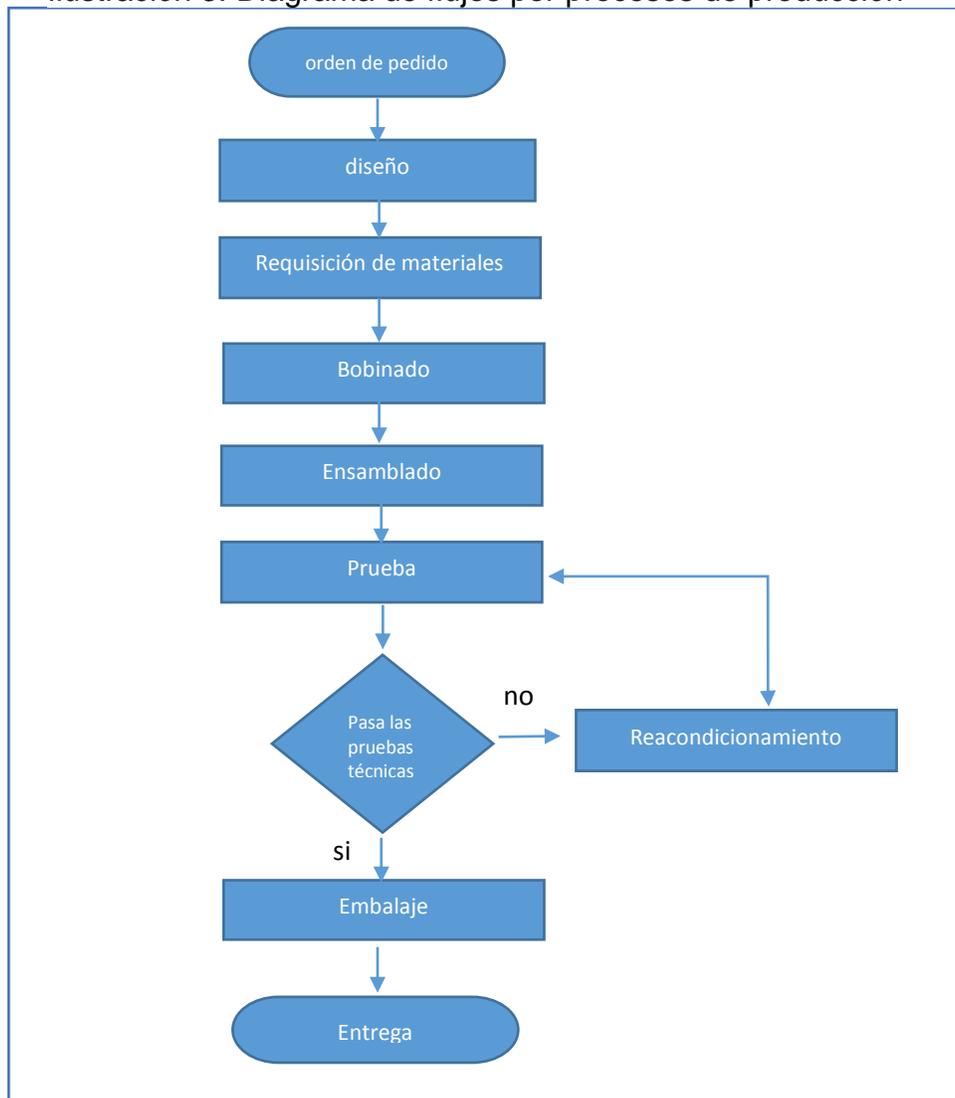
El Ing. Mario Egas estableció que: “Los autotransformadores Imetrilec, son aquellos donde existe una bobina en común de tal manera que se produce la transferencia de energía, no solo por inducción, sino también por conducción”. De acuerdo a esta aseveración, los autotransformadores son más económicos.

Dentro de los transformadores trifásicos, se encuentran tres columnas dispuestas, unidas en sus partes inferior y superior por medio de yugos, sobre cada columna se incrustan los devanados primarios y secundarios de una fase. Dentro de los trifásicos, las corrientes magnéticas de las tres fases son distintas entre sí. (Saavedra, n.d.).

### 2.3 Proceso de producción de los transformadores y autotransformadores

El diagrama de flujos para la producción de los transformadores y autotransformadores sigue un orden similar al flujo grama global antes mencionada, con la diferencia en el desenlace del proceso que es seguido por la preparación de los materiales, bobinado, ensamblado prueba y embalaje y entrega.

Ilustración 3: Diagrama de flujos por procesos de producción



### 2.3.1 Diseño

En el proceso de diseño de acuerdo a las especificaciones técnicas que desea el cliente para su transformador o número de transformadores se proceden a realizar los siguientes cálculos matemáticos.

Siguiendo el modelo de cálculos matemáticos del Ing. Roberto Rivas (Rivas, 2003), la producción tiene el siguiente orden:

- Potencia del transformador
- Determinación de la sección del núcleo
- Determinación del número de espiras en cada bobinado
- Tipo de alambre para el bobinado
- Determinación de las corrientes para cada bobinado
- Densidad de corriente eléctrica

#### Ejemplo:

##### Formas de cálculo de transformadores monofásicos

##### Potencia del Transformador

Para el calculo de la potencia útil, se utiliza la siguiente fórmula matemática

$$\text{Seccion}=1.1*(\sqrt{p})$$

S; Es la sección del núcleo en cm<sup>2</sup>

P: Potencia útil en Watts

Para el cálculo de S se procede a realizar la siguiente formula empírica

$$S=A*B$$

A: uno de los lados en cm

B: otro lado en cm

### **Determinación del número de espiras para cada bobinado**

Para la determinación del núcleo de espiras se utiliza la siguiente expresión

$$N. \text{Espiras} = \frac{V}{f \times s \times b \times 4.4 \times 10^{-8}}$$

Para el bobinado primario:

$$N. 1 = \frac{V}{f \times s \times b \times 4.4 \times 10^{-8}}$$

Para el bobinado secundario:

$$N. 2 = \frac{V}{f \times s \times b \times 4.4 \times 10^{-8}}$$

N1: Numero de espiras del bobinado primario

N2: Numero de espiras del bobinado secundario

V1: Tensión en el bobinado primario en Voltios

V2; Tensión en el bobinado secundario en Voltios

B: Constante (Inducción magnética en el núcleo elegido en Gauss  
 $B=\mu \cdot H$ )

S: Sección del núcleo

$10^{-8}$ : Constante (Rivas, 2003).

Según Rivas (2003) la selección del diámetro del cobre utilizado es directamente proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica que circulara sobre ella.

Corriente=Potencia/Tensión

Densidad de Corriente Eléctrica

Densidad=Corriente Eléctrica/Sección Transversal del Conductor

Calculo de la sección transversal del conductor para cada bobinado

$S = \text{Corriente Eléctrica} / \text{Densidad}$

Al calcular la densidad de la corriente eléctrica, se procede a revisar una tabla estandarizada donde se encuentra el diámetro y peso del tipo de alambre de cobre y su tensión.

### **2.3.2 Preparación de materiales**

A partir del proceso de planificación y diseño, donde se realizan los cálculos matemáticos que determinan la cantidad de materiales utilizados para el tipo y número de transformadores, se procede a realizar un análisis de inventario para verificar la existencia de la cantidad de material solicitado y si existe una falta de inventario, se procede a realizar un proceso de compras para satisfacer la orden de compra solicitada.

### **2.3.3 Bobinado**

En función de las formulas expresadas en la sección Diseño (para comprensión del tema), se a realizan las vueltas de cobre, utilizando el diámetro de cobre o número de diámetros de cobre, considerando la densidad de la corriente eléctrica y el tipo de potencia.

### **2.3.4 Ensamblado**

Una vez que se encuentra bobinado el transformador, se ensamblan los componentes adicionales para su terminación.

### **2.3.5 Prueba y Embalaje**

Después del proceso de ensamblaje el transformador o número de transformadores, los ingenieros de diseño y los trabajadores efectúan las pruebas técnicas pertinentes para la verificación del funcionamiento del producto

y si existe una anomalía dentro de su funcionamiento se realizan las correcciones para la entrega del producto.

### **2.3.6 Entrega**

Al finalizar el proceso de ensamblado y pruebas técnicas en función a los requerimientos del cliente, se entrega el equipo.

## **2.4 Análisis de tiempos de producción por línea de productos**

### **2.4.1 Análisis de tiempos de producción por procesos de los transformadores**

En referencia al proceso global de producción y proceso de producción de los transformadores, punto de partida para el análisis de tiempos se efectuó un análisis de los tiempos de producción utilizando un muestreo sistematizado de los tiempos por proceso de los transformadores, extraído de unas hojas de Excel donde se encuentra los costos de los materiales, tiempos por proceso de producción y la cantidad de transformadores producidos de los últimos 3 años. Se ha considerado este tiempo de análisis, debido a que la información detallada de los procesos se encuentra documentada desde el año 2013.

De acuerdo al modelo de tiempos de producción de los transformadores esta subdividido en la siguiente forma:

- Preparación de materiales: planificación, diseño, preparación de materiales
- Bobinado
- Ensamblado
- Prueba y Entrega
- Total de horas= Sumatoria de los puntos anteriores

## **2.4.2 Tiempos de Producción de los transformadores y autotransformadores Monofásicos**

### **2.4.2.1 Preparación de Materiales**

Utilizando las funciones estadísticas de Excel se efectuaron los cálculos de cada sección. De acuerdo al histórico de tiempos de producción de los últimos 3 años, las horas tiempo promedio para la preparación de los materiales es de 0.95 horas (57 min, 12 seg). Con un nivel de confianza del 95%. La desviación estándar es de 0.85 horas (51 min).

### **2.4.2.2 Bobinado**

El comportamiento de los tiempos del bobinado es similar al comportamiento de la preparación de materiales, por consecuente, la mayoría de los datos se encuentran cerca del promedio 3,29 horas (3.17 min) y la desviación estándar es de 4.23 horas (4 horas con 13 min).

### **2.4.2.3 Ensamblado**

Los tiempos de producción promedio dentro del proceso de ensamblado son de 3,3112 horas, con una desviación estándar de 3.1167.

### **2.4.2.4 Revisión y entrega**

El proceso de revisión y entrega sigue un comportamiento similar a los procesos anteriores. La mayoría de los datos se encuentran cerca del promedio 0.15 horas y la desviación estándar es alta 0,38 horas, llegando a un valor máximo de 2 horas.

### 2.4.2.5 Total de horas

H. Ajustada	
Media	7.728003014
Error típico	0.489491023
Mediana	6.25
Moda	4
Desviación estándar	6.28762603
Varianza de la muestra	39.53424109
Curtosis	15.0498875
Coefficiente de asimetría	3.218780874
Rango	49.75
Mínimo	0.5
Máximo	50.25
Suma	1275.120497
Cuenta	165

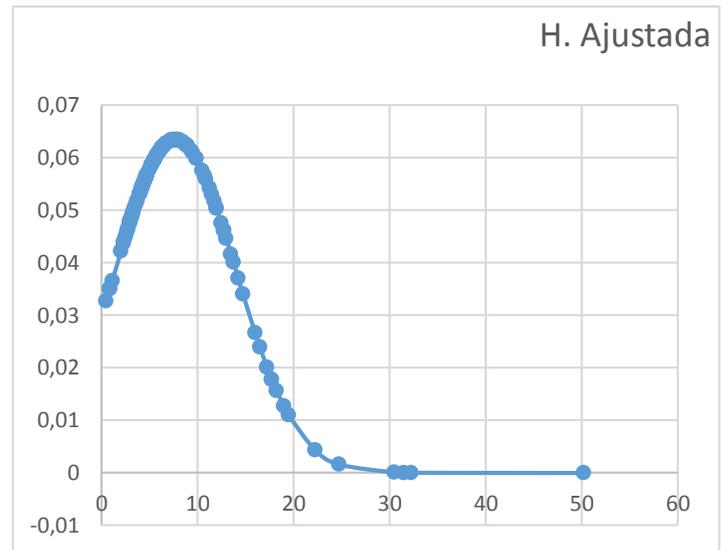


Ilustración 4: Diagrama de distribución normal del tiempo de horas

Tabla 3: Resumen de estadísticas: tiempos totales (transformadores y autotransformadores monofásicos)

El proceso final de producción, ensamblado y entrega de los transformadores, se encuentra como horas totales, en nuestro análisis. El tiempo promedio para la producción final de un transformador monofásico es de 7.72 horas con una desviación estándar de 6.28.

### **2.4.3 Tiempos de Producción de los transformadores y autotransformadores Trifásicos**

El análisis de los tiempos de producción de los transformadores trifásicos siguen el mismo modelo anterior de los transformadores monofásicos, donde los procesos comienzan por la preparación de materiales, bobinado, ensamblado, prueba y entrega, y total de horas que es tiempo de producción total, teniendo en consideración la sumatoria de tiempos de cada proceso mencionado anteriormente.

#### **2.4.3.1 Preparación de materiales**

El proceso de revisión de notas de pedidos , búsqueda de los materiales virtualmente en el sistema administrativo contable y validando información, realizando una inspección física en bodega tiene un comportamiento de distribución normal, con un promedio de duración de 2.5 horas, con una desviación estándar de 1.78 horas, los valores máximos tienen un comportamiento atípico que se relaciona directamente con la capacidad, a mayor potencia, mas es el tiempo de planificación, diseño y requisición de materiales en bodega, para así seguir al siguiente proceso de bobinado.

#### **2.4.3.2 Bobinado**

Durante la fabricación de transformadores trifásicos, el proceso de bobinado es uno de los más extensos, afectando sustancialmente el tiempo de entrega final, o como esta denominado en la información de la empresa como total de horas. Esto puede ser deducido fácilmente, dado que los transformadores trifásicos poseen tres bobinas o núcleos y cada núcleo debe pasar por la bobinadora para insertar las vueltas de cobre de diferentes diámetros y así producir bobinas que puedan conducir la energía en base a las especificaciones del cliente. El tiempo promedio de bobinado, considerando el histórico de producción de los transformadores es de 10. 79 horas con una desviación estándar de 7.73 horas.

### **2.4.3.3 Ensamblaje**

El proceso de ensamblado, al igual que el proceso de bobinado es una de las etapas que consumen mayor tiempo y mano de obra, por consecuente que se realiza manualmente la inserción de la láminas de acero para darle forma al yugo del transformador, se instalan las bobinas, y se ensamblan los componentes finales para terminar con la manufactura del equipo(s). El tiempo promedio de ensamble de los transformadores trifásicos son 7.63 horas con una desviación estándar de 6.42 horas.

### **2.4.3.4 Prueba y entrega**

En el flujo de procesos de fabricación de los transformadores, la etapa de prueba y entrega es relativamente corta, visto que las pruebas son sencillas y tienen un nivel de confianza significativo para demostrar su funcionalidad. Son muy raros los casos, de que no funcionen los transformadores de manera correcta, por el motivo que su ensamble está determinado por fórmulas matemáticas validadas. El tiempo promedio es de 0.75 horas con una desviación estándar de 2.6.

### **2.4.3.5 Total de horas**

Al culminar con este fructífero análisis de tiempos de producción de los transformadores trifásicos, se constató un tiempo promedio de 21 horas, lo cual es superior al tiempo de producción promedio de los transformadores monofásicos. Esto se debe a la cuantía de materiales integrados, y al número de bobinas de los transformadores trifásicos, por consiguiente los tiempos de bobinado y ensamblado son superiores.

Tabla 4: Resumen de estadísticas (total de horas de transformadores y autotransformadores trifásicos)

<i>H. Ajustada</i>	
Media	21.6877604
Error típico	2.70669895
Mediana	17.7916667
Moda	13
Desviación estándar	15.3114014
Varianza de la muestra	234.439014
Curtosis	9.58754121
Coefficiente de asimetría	2.65829678
Rango	82.375
Mínimo	3.625
Máximo	86
Suma	694.008333
Cuenta	32

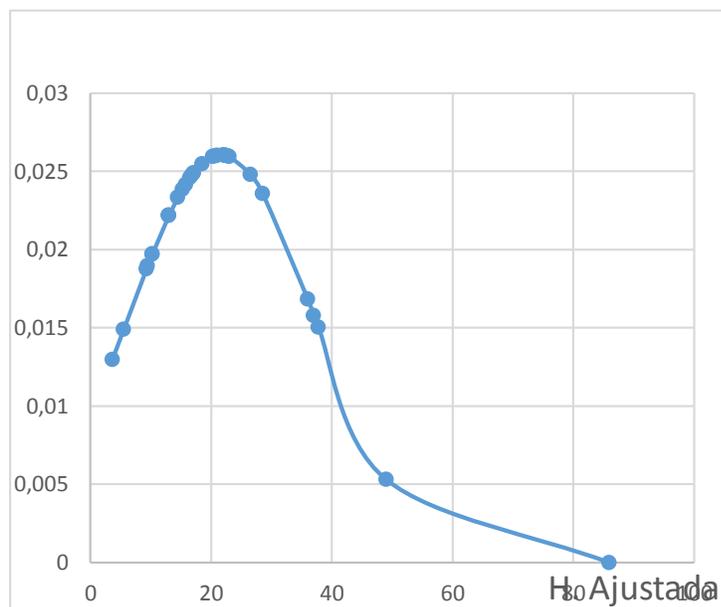


Ilustración 5: Diagrama de dispersión por total de horas ajustadas en transformadores y autotransformadores trifásicos

## 2.6 Descripción de los materiales y análisis de Inventario

Para poder definir cuál es tiempo real del proceso globalizado de la producción es necesario entender el tiempo que toman los procesos internos de oficina desde la verificación de inventario, hasta la entrega del equipo al destinatario final que es el cliente, lo cual es conocido como el *lead time* o tiempo de entrega final, dentro del marco conceptual logístico.

Los materiales a detallar a continuación serán solamente acerca de la producción de los transformadores y autotransformadores, por el motivo que

estos materiales son adquiridos por la compañía para su producción y ensamblado en productos finales para la venta y distribución.

Básicamente, los materiales esenciales para la producción de los transformadores los dividiremos en tres grupos que se detallaran a continuación:

- Láminas de acero no granulado
- Láminas y alambres de cobre

Adentro de cada grupo de materiales, se encuentran una gran variedad de subtipos que serán descritos dentro de este análisis, en el cual se detallara su participación, caracterizada por su volumen de compras promedio, por el motivo que tendremos una visión acertada de los materiales más relevancia, en términos de rotación de inventario e importancia.

### **2.6.1 Láminas de acero no granulado**

Las láminas utilizadas para la fabricación de los transformadores están divididas por su diámetro y tamaño, esto se debe a que los transformadores se realizan bajo las especificaciones técnicas que desea el cliente como se había mencionado anteriormente y en base a estas especificaciones, se realizan los cálculos físicos y matemáticos para determinar la cuantía y el tipo de acero que se utilizara.

En base al historial de inventario de la empresa detallaremos los tipos de lámina que la empresa ha adquirido para su producción de los últimos 4 años.

Como se puede visualizar en el cuadro detallado por tipo de lámina y participación promedio por volumen de compra de los últimos meses, se encuentra una descripción de cada tipo de lámina, las cuales se subdividen según el tipo de fase la cual serán utilizadas y el tamaño o diámetro de la lámina. La

empresa básicamente realiza transformadores y autotransformadores de una fase (monofásicos) y trifásicos (tres fases).

### **2.6.2 Descripción de los tipos de láminas de acero y análisis ABC por consumo promedio y por comportamiento de compras promedio**

De acuerdo a los temas tratados anteriormente, básicamente la producción de los transformadores esta subdivida en transformadores y autotransformadores monofásicos y trifásicos, de los cuales existen dos subtipos de láminas de acero no granulado empleadas para el ensamble y bobinado de estos dos productos.

Las láminas de acero no granulado se subdividen en láminas de acero no granulado fase 1 (específicamente utilizadas para la producción de transformadores y autotransformadores monofásicos) y láminas de acero no granulado fase 3 (específicamente para la producción de los transformadores y autotransformadores trifásicos).

Por medio del historial de inventarios proporcionado por la compañía Imetrilec (2015), se efectuó un análisis de consumo y de comportamiento de compras, de cada tipo de lámina de acero.

De acuerdo a este análisis se puede comprender el nivel de relevancia y la categorización de cada tipo de lámina.

### **2.6.2.1 Láminas de acero no granulado fase 1**

Este análisis fue realizado con el fin de comprender, dentro de las láminas de acero fase 1, cuales son las más importantes, efectuando el modelo de análisis ABC, donde se categoriza cada tipo de lámina por medio del modelo de Pareto (80%-20%). Las láminas que se encuentran dentro del 80% tienen categorización A (mayor participación del consumo total en libras de acero), las que se encuentran dentro del 90% ( $90\% - 80\% = 10\%$ ) tiene una categorización tipo B, (participación media del consumo total en libras de acero) y finalmente las láminas que se encuentran en el 10 % restante que suman el 100% del consumo total porcentual, se categorizan como clase C.

### **2.6.2.2 Categorización de las láminas de fase 1 por consumo promedio (Análisis ABC)**

Este análisis ABC fue concebido, calculando el consumo por año de cada lamina de acero, usando una recopilación y estructuración del historial de inventarios, dentro del cual, el consumo es igual al Inventario existente (compras del año en curso + existencias)-inventario final al cierre de cada año. En base del consumo de cada año se calculó el consumo promedio. Las ponderaciones de cada año fueron realizadas mediante el consumo promedio de cada lámina sobre el consumo total promedio de láminas. Esta ponderación se ejecutó mediante el consumo en libras de acero.

De acuerdo a la tabla el 66.67% de las láminas de acero fase 1 pertenecen a la categoría A, el 16.67% pertenecen a la categoría B y el 16.67% restante pertenecen a la categoría C.

Laminas 1f	Consumo %	Frecuencia Ac.	Categoría
<b>lam.1f acero 100</b>	16%	16%	A
<b>lam. 1f acero ei50</b>	18%	34%	A
<b>lam.1f acero ei 80</b>	13%	47%	A
<b>lam. 1f acero ei60</b>	9%	56%	A
<b>lam. 1f acero ei44</b>	10%	66%	A
<b>lam. 1f acero ei38</b>	5%	71%	A
<b>lam. 1f acero ei 25</b>	8%	79%	A
<b>lam.1f acero ei 70</b>	6%	85%	A
<b>lam. 1f acero ei32</b>	4%	89%	B
<b>lam. 1f acero ei 28</b>	3%	92%	B
<b>lam. 1f acero ei57</b>	5%	97%	C
<b>lam. 1f acero ei019</b>	3%	100%	C

Tabla 5: Análisis ABC por laminas de acero fase 1 (consumo promedio)

Tabla 6 Categorización de las láminas de acero fase 1 (consumo promedio)

Laminas tipo A	Laminas tipo B	Laminas tipo C
<b>lam.1f acero 100</b>	<b>lam. 1f acero ei 32</b>	<b>lam. 1f acero ei 57</b>
<b>lam. 1f acero ei50</b>	<b>lam. 1f acero ei 28</b>	<b>lam. 1f acero ei 019</b>
<b>lam.1f acero ei 80</b>		
<b>lam. 1f acero ei60</b>		
<b>lam. 1f acero ei44</b>		
<b>lam. 1f acero ei38</b>		
<b>lam. 1f acero ei 25</b>		
<b>lam.1f acero ei 70</b>		

### 2.6.2.3 Categorización de las láminas de acero en función del comportamiento de compras promedio por tipo de lámina

Empleando el mismo análisis ABC, se procedió a categorizar cada lámina por participación relativa promedio en compras, para así subdividirlas por relevancia.

En las siguientes tablas se podrá observar con detalle las láminas que son parte de cada categoría.

Laminas 1f	Compras %	Frec. Acum.	Categoría
lam. 1f acero ei 25	19%	19%	A
lam. 1f acero ei 28	14%	33%	A
lam. 1f acero ei019	14%	47%	A
lam. 1f acero ei32	10%	57%	A
lam. 1f acero ei38	9%	67%	A
lam. 1f acero ei44	8%	74%	A
lam. 1f acero ei50	8%	82%	A
lam. 1f acero ei57	7%	89%	B
lam. 1f acero ei60	6%	95%	B
lam.1f acero 100	5%	100%	C
lam.1f acero ei 70	0%	100%	C
lam.1f acero ei 80	0%	100%	C

Tabla 7 Análisis ABC por láminas de acero fase 1 (compras promedio)

Tabla 8: Categorización por láminas de acero fase 1 (compras promedio)

Laminas tipo A	Laminas tipo B	Laminas tipo C
<b>lam. 1f acero ei 25</b>	<b>lam. 1f acero ei57</b>	<b>lam.1f acero 100</b>
<b>lam. 1f acero ei 28</b>	<b>lam. 1f acero ei60</b>	<b>lam.1f acero ei 70</b>
<b>lam. 1f acero ei019</b>		<b>lam.1f acero ei 80</b>
<b>lam. 1f acero ei32</b>		
<b>lam. 1f acero ei38</b>		
<b>lam. 1f acero ei44</b>		
<b>lam. 1f acero ei50</b>		

Existen 4 coincidencias en la categoría A, comparando las categorías entre ambos análisis (ABC de consumo y ABC de compras), que son las siguientes:

- lam. 1f acero ei50
- lam. 1f acero ei44
- lam. 1f acero ei38
- lam. 1f acero ei 25

### 2.6.2.4 Láminas de acero fase 3

De la misma manera que el método anterior se procedió a calcular el consumo promedio relativo de cada tipo de lámina fase para la fabricación de los transformadores y autotransformadores trifásicos.

### 2.6.2.5 Categorización de las láminas fase 3 por consumo promedio

Tabla 9: Categorización de las láminas fase 3 por consumo promedio

lamina	Consumo %	Frecuencia Ac.	Categoría
lam.3f. Acero ei50	33%	33%	A
lam.3f.Aceroei60	27%	59%	A
lam.3f.aceroie70	26%	86%	B
lam.3faceroi80	14%	100%	C

Tabla 9: Categorización de las láminas fase 3 por consumo promedio

### 2.6.2.6 Categorización de las láminas fase 3 por comportamiento de compras promedio

Tabla 10: Categorización de la laminas fase 3 por compras promedio

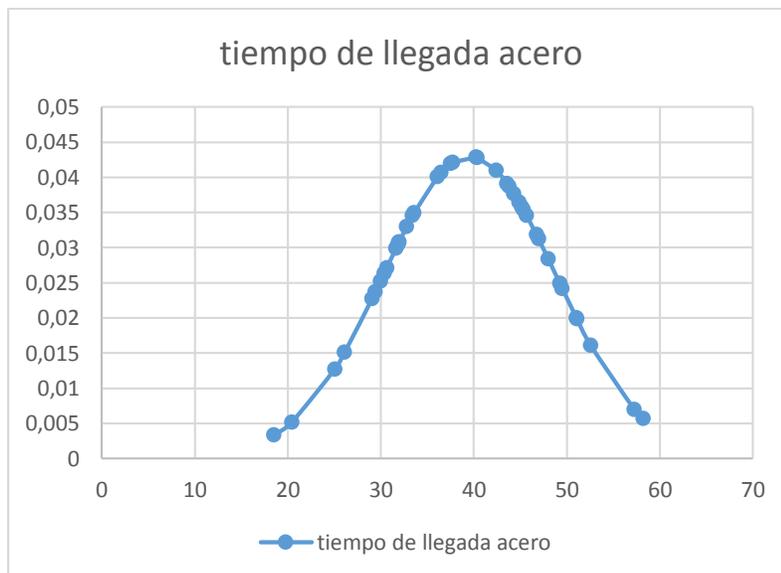
Lamina	Compras %	Frec. Ac.	Categoría
lam.3f. Acero ei50	32%	32%	A
lam.3f.Aceroei60	27%	59%	A
lam.3f.aceroie70	26%	85%	B
lam.3faceroi80	15%	100%	C

### 2.6.2.7 Tiempos de entrega promedio de las láminas de acero no granulado

Las láminas de acero son importadas de Brasil (COSINOX). Esta empresa le provee todas los tipos de láminas que se encuentran detalladas en el cuadro anterior.

Con un nivel de confianza del 99%, el tiempo promedio de llegada de las láminas de acero no granulado son de 40 días laborables con una desviación estándar de 9.28 días. Con un tiempo de llegada mínimo de 21 días y un tiempo de llegada máximo de 60 días. La muestra de los tipos de láminas tiene un comportamiento normal, de acuerdo al grafico de distribución y dispersión, donde se pueden visualizar correctamente la media y los valores atípicos de los tiempos de llegada.

Ilustración 6: *Diagrama de dispersión del tiempo de llegada del acero*



<i>tiempo de llegada acero</i>	
Media	39.5598684
Error típico	1.48676068
Mediana	40.2367869
Moda	#N/A
Desviación estándar	9.28481748
Varianza de la muestra	86.2078357
	-
Curtosis	0.79327147
Coefficiente de asimetría	0.06812902
Rango	37.8012373
Mínimo	20.4410436
Máximo	58.2422809
Suma	1542.83487
Cuenta	39
Nivel de confianza (99.0%)	4.03143723

Tabla 11: Resumen de estadísticas: tiempo de llegada del acero

### 2.6.3 Láminas y alambres esmaltados de cobre

El cobre es un material clave para la fabricación de cualquier transformador. Este es un material perfecto para el bobinado del voltaje de entrada y de salida de los equipos debido a sus propiedades de conducción de energía eléctrica, fácil manejo para la fabricación de productos terminados y su bajo costo, en comparación con los cables de aluminio y de oro que tienen costos muy elevados y no son rentables para la empresa. La gran mayoría de las empresas que realizan artefactos eléctricos utilizan el cobre como conductor de energía.

Imetrilec necesita una amplia gama de tipos de alambre esmaltado de cobre para el bobinado de sus transformadores, debido a que los transformadores son hechos bajo pedido y la cuantía y el tipo de cable, están directamente correlacionados con los cálculos matemáticos y físicos realizados en el proceso de planificación y diseño. Dentro de un transformador pueden ser empleado 1 o más tipos de cobre, diferenciados por su diámetro, debido a ser que en cada tipo de bobina ( Devanado primario y devanado secundario), el número de vueltas de cobre y tipo de cobre están relacionados al voltaje de entrada y voltaje de salida seleccionadas por el cliente .

Al calcular la densidad de corriente eléctrica (Formula se encuentra detallada en el proceso de diseño de transformadores monofásicos), se selecciona el tipo de cable esmaltado por medio de una tabla empírica que se fundamenta en el diámetro de cada cable de cobre en función de la densidad de conducción de energía eléctrica.

En el siguiente cuadro se visualiza de una manera clara los tipos de cable que Imetrilec utiliza , su participación ponderada promedio en función de volumen de compra y su rotación de inventario, extraída del historial del inventario de los últimos 7 años y su participación acumulada para realizar un análisis de Pareto y así determinar su relevancia.

Los carretes de cobre son adquiridos de manera local, por parte de la Ing. Rosamaría Egas que se encarga de las compras nacionales y las importaciones para los materiales de fabricación. El tiempo de llegada promedio de los carretes de cobre al destino (bodegas de Quito es de 2 días, con una desviación estándar de 1,18 días y un nivel de confianza del 99%.

Tabla 12: Resumen de estadísticas: tiempo de llegada del cobre

<i>tiempo de llegada cobre</i>	
Media	2.082079213
Error típico	0.236184733
Mediana	2
Moda	3
Desviación estándar	1.180923666
Varianza de la muestra	1.394580704
Curtosis	0.137006529
Coefficiente de asimetría	0.668155696
Rango	4.847393267
Mínimo	0.152606733
Máximo	5
Suma	52.05198033
Cuenta	25
Nivel de confianza (99.0%)	0.660594411

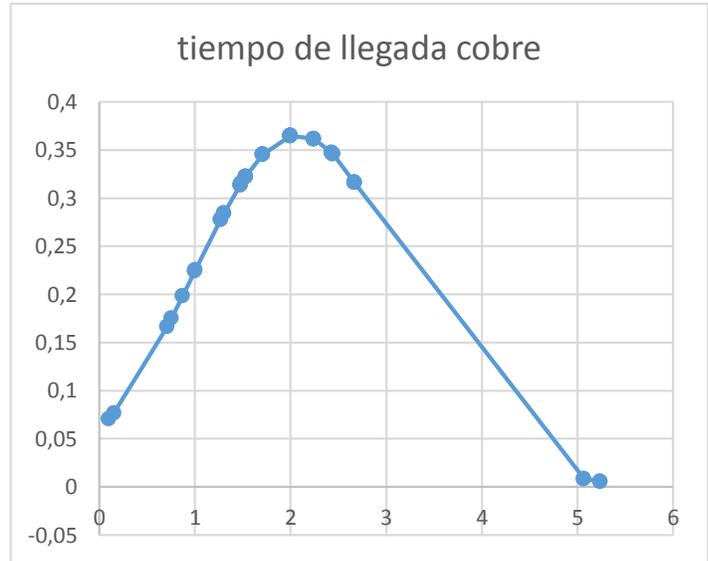


Ilustración 7: *Diagrama de dispersión del tiempo de llegada del cobre*

**Ver:**

*Anexo 1: Categorización de los alambres de cobre por compras promedio (Análisis ABC)*

*Anexo 2: Categorización de los cables de cobre por compras promedio (sistema ABC)*

## **2.7 Comportamiento De La Demanda De Los Transformadores Y Autotransformadores**

En base al histórico de producción/ventas de los últimos tres años, se llevó a cabo un consolidado de la demanda de los transformadores y autotransformadores.

Los transformadores han sido subdivididos en transformadores monofásicos y trifásicos y autotransformadores monofásicos y trifásicos.

En cuestiones de análisis, es muy complicado de predecir con exactitud qué tipo de transformadores serán producidos por el motivo que los transformadores son producidos en base a órdenes de pedido y en base a las características especiales que desean los clientes y debido a esta producción poseen las siguientes características que convierten en cada uno de los transformadores únicos y el grado de aleatoriedad es muy alto, lo cual no permitiría proporcionarnos una base clara de la demanda para pronosticar su producción.

Estas características técnicas serán detalladas a continuación

- Voltaje de entrada
- Voltaje de Salida
- Potencia Real
- Potencia Aparente

Estas características definen el bobinado y el diámetro de los alambres de cobre, y la cantidad y diámetro de láminas de acero no granulado para la fabricación de todos los transformadores y autotransformadores.

Por otra parte, se puede evidenciar mediante la siguiente fórmula empírica utilizada por el Ing. Mario Egas, que calcula la cantidad en Libras de Alambre

Esmaltado de Cobre y de Acero de acuerdo a la potencia del transformador, sin importar su voltaje de entrada y salida y nos permite cuantificar de una manera más uniforme el comportamiento de la demanda orientada a consumo de estos dos materiales y así pronosticar su consumo.

La formulas son las siguientes

$$W_{cobre} = \alpha(P)^{0.75}$$

$$W_{acero} = \beta(P)^{0.75}$$

Alfa representa un coeficiente utilizado para calcular la cuantificación en libras de cobre que es diferente en función del tipo de fase del transformador (monofásico y trifásico)

Beta representa un coeficiente utilizado para calcular la cuantificación en libras de cobre que es diferente en función del tipo de fase del transformador (monofásico y trifásico).

(Por motivos de discreción no pueden ser mencionados los coeficientes empíricos utilizados por la empresa).

En base a estas fórmulas, se logró realizar un cuadro de comportamiento de la demanda en función de la potencia, libras de cobre y libras de acero según su tipo de fase y consolidar la producción de los transformadores y autotransformadores, debido a que utilizan los mismos materiales, en cuestión de acero y de cobre para analizar su comportamiento.

En este cuadro (Anexo Cuadro de la demanda por consumo de transformadores y Autotransformadores trifásico; Comportamiento de la demanda de transformadores y autotransformadores Monofásicos) se puede observar la demanda histórica en base a las formulas empíricas calculando el consumo de Lb de cobre y Lb de Acero Silicio no Granulado.

Este cuadro se realizó mediante el uso de las funciones de Excel (subtotales) para desarrollar un consolidado con valores exactos de la información.

Ver:

*Anexo 4: Cuadro de la demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos (2013-2015)*

*Anexo 6: Cuadro de la demanda de los transformadores y autotransformadores trifásicos (2013-2015)*

### **2.7.1 Transformadores y autotransformadores monofásicos**

La demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos sigue una tendencia lineal positiva y sigue un comportamiento regular que no se rige por un comportamiento estacional, el consumo de las libras de cobre, tienen picos y bajos indefinidos pero se apegan al crecimiento esperado, derivado de la ecuación de regresión lineal. El valor atípico encontrado en el mes de Julio 2014, se debió a que existió un contrato sustancial de transformadores de alta potencia, lo cual afecta directamente al consumo en libras del cobre y del acero.

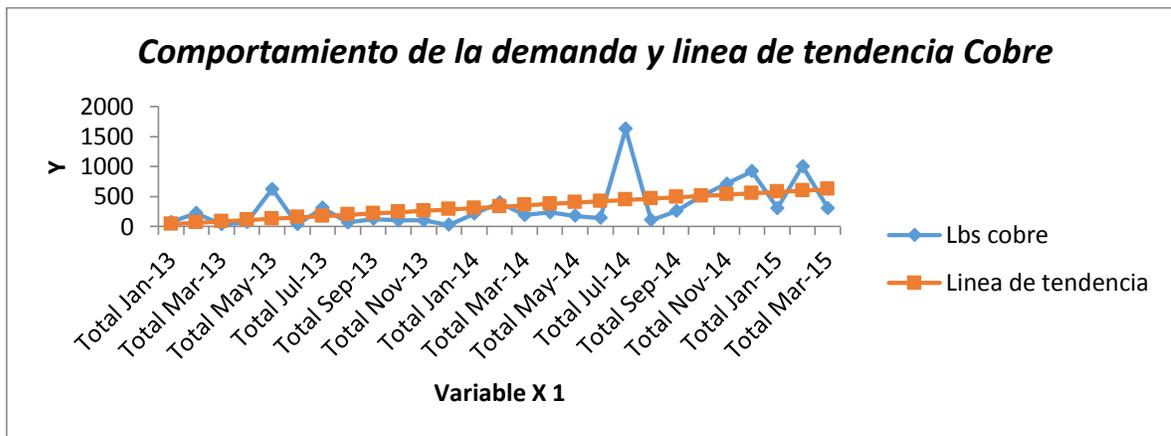


Ilustración 8: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre (trans. Monofásicos)

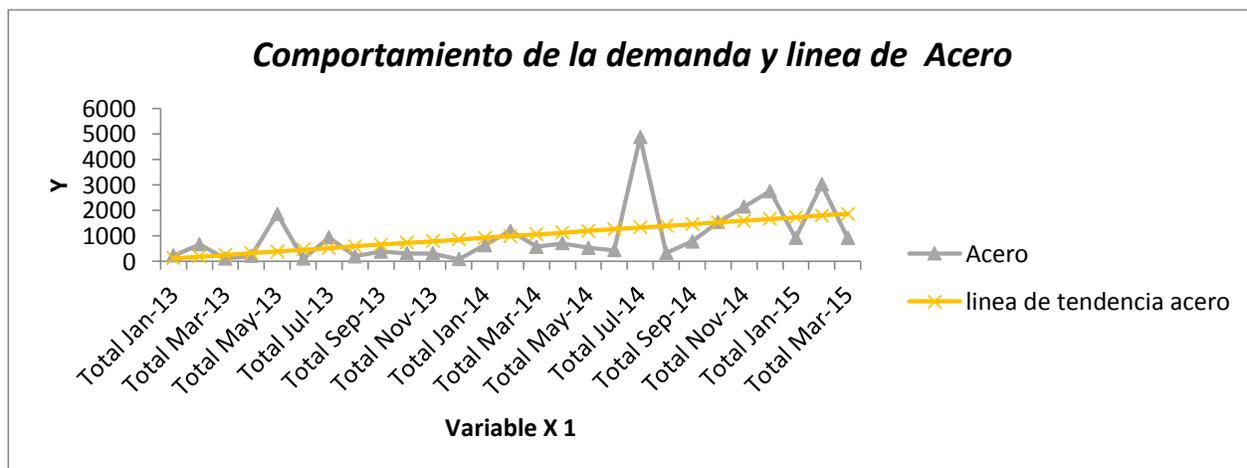


Ilustración 9: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre ( Trans. Monofásico)

### 2.7.2 Transformadores y autotransformadores trifásicos

El comportamiento en cuestión de la demanda de los transformadores trifásicos tiene una proyección lineal con pendiente negativa, cercana a ser igual con el tiempo. Por otra parte, existe un valor atípico en Julio 2013, que se debió a que existió una demanda significativa de transformadores trifásicos de alta potencia, a la vez de la demanda habitual de transformadores trifásicos. Desde ese punto de análisis en adelante la demanda se ha mantenido con un comportamiento más regular y habitual.

Ver anexo 5: cuadro de la demanda de los transformadores y autotransformadores trifásicos

Ilustración 10: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre ( Trans. Trifásico)

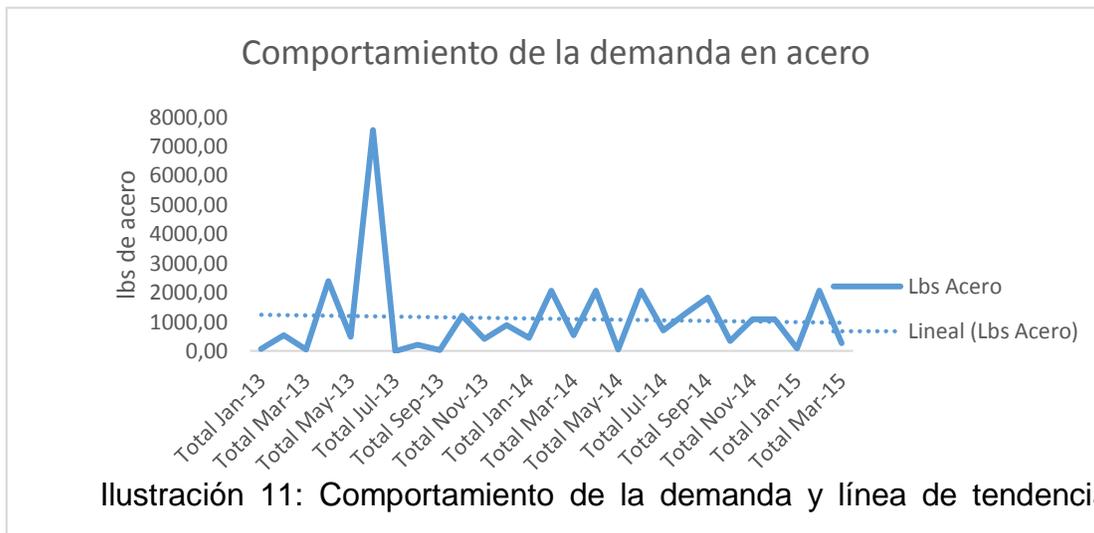
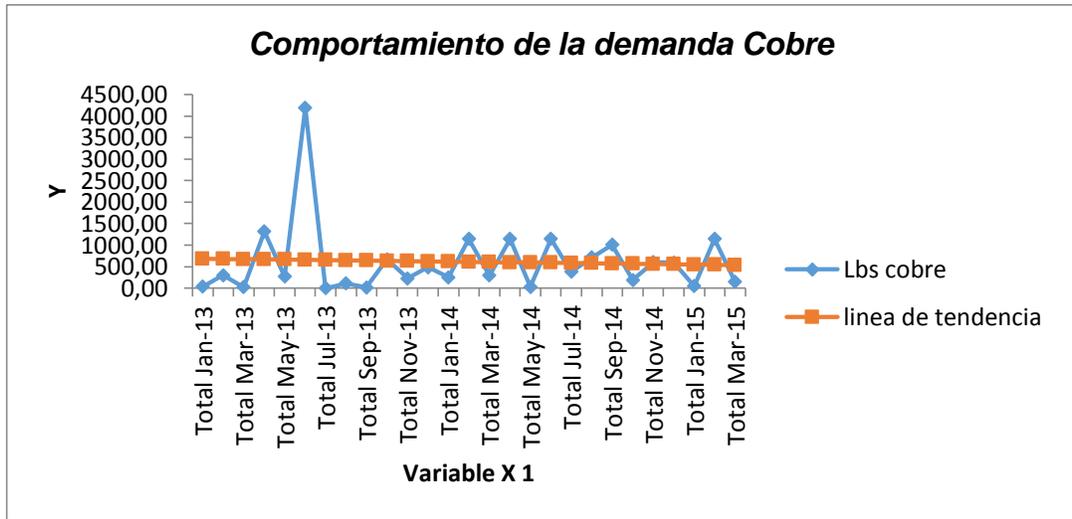


Ilustración 11: Comportamiento de la demanda y línea de tendencia del cobre (Trans. Trifásico)

## CAPITULO III

# EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE METODOS DE PRONÓSTICO PREVIO AL DESARROLLO DEL SISTEMA DE MANEJO DE INVENTARIO

*SISTEMA DE MODELO DE PRONÓSTICO DE LA DEMANDA (MODELO SUNIL, MEINDL)*

En base al modelo mencionado anteriormente en el marco teórico (pg18) se seguirán los siguientes pasos para el desarrollo del sistema predictivo de reabastecimiento.

### ***Proceso básico para pronosticar la demanda***

1. Entender el objetivo del pronostico
2. Integrar la planeación y el pronóstico de la demanda en la cadena de suministro
3. Determinar la técnica apropiada de pronostico
4. Establecer medidas de desempeño y error para el pronóstico (Senil, Meindl, 2008, pg.191).

### **3.1 Objetivo del Pronóstico**

El objetivo general dentro de esta línea, es desarrollar un modelo ideal adaptable a la complejidad generada por las características técnicas y universalidad de materiales de fabricación de los transformadores y autotransformadores.

### **3.2 Integración de la planificación Agregada y Pronostico de la demanda en el producto**

El primer paso antes de entrar al comportamiento de la demanda del producto es entender el proceso de producción detallado de los transformadores y los tiempos de producción.

En el caso de los transformadores, debido a la complejidad de análisis de la producción de los transformadores se decidió realizar un estudio de los tiempos

de producción por potencia y por tipo de transformador (monofásico, trifásico) para tener una mayor perspectiva de los procesos de producción y los costos promedio.

Dentro del capítulo de *Recopilación de la información previo al desarrollo a las propuestas de sistema de reabastecimiento* se encuentran en detalle análisis de tiempos de producción por productos se encuentran detallados los tiempos promedio por producto, en base a la información se Efectuó la siguiente tabla donde consta un resumen por tiempos y por productos:

El proceso de integración de planeación agregada será de la siguiente manera: Los tiempos de producción promedio serán utilizados para calcular los costos de mano de obra y la predicción de los materiales de producción, para la asignación de recursos financieros y tener una proyección de presupuesto en base a las estimaciones de la demanda.

**Tabla 13: Tiempos promedio por procesos de producción y desviación estándar del total de horas**

Procesos/ Transformadores	Tras. Monofásico	Auto. Monofásico	Tras. Trifásico	Auto. Tras. Trifa
Preparación materiales P.	0.96	2.99	2.51	3.12
Bobinado P.	3.30	2.96	10.80	11.96
Ensamblado P.	3.31	3.32	7.64	8.70
Prueba y Entrega P.	0.16	0.91	0.75	1.75
<b>Total de horas P.</b>	<b>7.73</b>	<b>10.09</b>	<b>21.69</b>	<b>25.52</b>
<b>Desviación Esta. Total horas</b>	<b>6.28762603</b>	<b>13.80707752</b>	<b>15.31140145</b>	<b>23.96340706</b>

### 3.3 Utilización de métodos de pronósticos para determinación del método adecuado de pronóstico

#### 3.3.1 Transformadores y Autotransformadores Monofásicos

Este análisis de la demanda debe ser llevado mediante modelos de pronósticos viables y la selección del modelo de pronóstico que se apegue más a la realidad del caso. Para seleccionar el tipo de pronóstico adecuado en los transformadores y autotransformadores monofásicos se utilizó los siguientes métodos de pronóstico.

- *Promedio Móvil Simple*
- *Promedio Móvil Ponderado*
- *Suavizado Exponencial*
- *Modelo de Holt- Ajuste Exponencial Doble*

Una vez realizado el análisis de cada método en función del Error Cuadrático Promedio se seleccionara el método más adaptable a la demanda de los Transformadores Monofásicos.

##### 3.3.1.1 Promedio Móvil Simple

Este es el primer método de pronóstico empleado para verificar su grado de efectividad dentro de nuestro análisis en la selección de pronósticos de los transformadores y autotransformadores monofásicos. Este método se basa en la siguiente fórmula;

Ecuación 1: Promedio Móvil Simple

$$\hat{x}_t = \frac{\sum_{t=1}^n X_{t-1}}{n}$$

$\hat{x}_t = \text{promedio de ventas en unidades periodo } t$

$\Sigma = \text{Sumatoria de Datos}$

$X_{t-1} = \text{Ventas reales en unidades de los periodos anteriores a } t \text{ } n = \text{número de datos}$

En el cálculo del promedio móvil simple es de vital importancia analizar el número de periodos a considerar: ya sea el número de meses para calcular el promedio para así descifrar que número de meses posee el menor error cuadrático promedio (MSE).

De acuerdo a la tabla de pronósticos se descifro lo siguiente:

Este cuadro está en función del Pronóstico de consumo de lb. De Cobre y Lb. de acero de Abril 2015, el error cuadrático y el error cuadrático promedio. El tiempo de análisis con menor error cuadrático de pronóstico es de 5 meses y el pronóstico para el mes de Abril 2015 es de 507 lbs de Cobre y 1523.18 lbs de Acero. Por otra parte el *Media Absolute Deviación* otorgo un resultado de 224.59 en relación al cobre y un valor de 673 en relación al acero. A su vez, el *Media Absolute Porcentaje Error* señaló un nivel de error promedio del 111% de igual manera que el acero y finalmente el *Tracking Signal* proyecto una muestra de -4.75, que quiere decir que subestima de una manera negativa el pronóstico a la demanda real. Finalmente, la suma de los Errores corrientes de Pronóstico. *Running sum of forecasting errors*, mostro un valor -288 en el cobre y -864 en el acero.

Tabla 14: Resumen de resultados Promedio móvil simple (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos)

	Ratio/F. Method	Pro. Móvil S.
<b>COBRE</b>	MSE	135,240.31
	MAD	224.59
	RSFE	-998.99
	MAPE	1.11
	T. Signal	-4.45
<b>ACERO</b>	MSE	1,217,162.76
	MAD	673.59
	RSFE	-2,996.96
	MAPE	1.11
	T. Signal	-4.45

**Ver:**

Anexo 5: Promedio Móvil Simple (5meses) Trans. Monofásicos

Anexos 6 y 7: Gráficos de la demanda versus el pronóstico de P. Móvil Simple, Transformadores y Auto transformadores monofásicos

### 3.3.1.2 Promedio Móvil Ponderado

EL promedio móvil ponderado fue el segundo método de pronóstico utilizado para pronosticar la demanda de abril-2015.

La fórmula del promedio móvil ponderado es la siguiente:

**Ecuación 2: Promedio Móvil Ponderado**

$$Demand = (a) (Dt-1) + (b) (Dt-2) + \dots + (n)(Dt-n)$$

A, b, c etc., son ponderaciones que están relacionadas al número de meses del análisis para encontrar el pronóstico

$D_{t-n}$ =Es la demanda pasada ligada a cada mes, que tendrá en ponderación, en función del número de meses para el análisis.

La ponderación óptima para el análisis fue la siguiente:

a	50%
b	10%
c	25%
d	10%
e	5%
total	100%

El tiempo designado para encontrar la óptima proyección dentro de este tipo de pronóstico, fue de 5 meses, en similitud al método de promedio móvil simple. La proyección al mes de Abril-2015 fue de 641 lb de Cobre y de 1923 lb de Acero, con un *MSE* de 131808.72 con respecto a las libras de Cobre y 1,187,178.49, el error cuadrático promedio de las la libras de Acero. El *Media absolute error* del tipo de pronóstico fue de 201.34 en el análisis del cobre y 604 en el acero. En adición, el *RSFE* dentro del análisis del cobre obtuvo un valor de -1,536.84 y dentro del acero de -4,610.51. Continuando con el análisis de errores para selección de pronóstico, el *Tracking Signal* señaló un valor de 0.99 en el cobre y el acero.

Tabla 15: Resumen de resultados Promedio móvil ponderado (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos)

	Ratio/F. Method	Pro. Movil P.
<b>COBRE</b>	MSE	131,908.72
	MAD	201.34
	RSFE	-1,536.84
	MAPE	0.99
	T. Signal	-7.63
<b>ACERO</b>	MSE	1,187,178.49
	MAD	604.01
	RSFE	-4,610.51
	MAPE	0.99
	T. Signal	-7.63

**Ver:**

Anexo 8: Promedio Móvil Ponderado (cobre) trans./ Auto monofásicos

Anexo 9: Promedio Móvil Ponderado (acero) trans./ Auto monofásicos

Anexos 10 y 11: Gráficos del pronóstico (Promedio móvil Ponderado) vs Demanda real en los transformadores y autotransformadores monofásicos

### 3.3.1.3 Suavizado Exponencial

Este fue el tercer método empleado para el análisis de selección de pronósticos dentro del marco de transformadores y autotransformadores monofásicos.

La fórmula para determinación del pronóstico es la siguiente:

**Ecuación 3: Suavizado Exponencial**

$$F_{t+1} = \alpha(D_t) + (1 - \alpha)(F_t)$$

$F_{t+1}$ : Pronóstico para el próximo periodo

$\alpha$ : Coeficiente utilizado para medir la ponderación que es mayor a 0 y menor a 1

$D_t$ : Demanda del periodo anterior (Ballou, R., 2008)

Utilizando la función de solver, herramienta de Excel, se determinó el nivel de alfa óptimo para reducir el nivel del error cuadrático promedio.

$\alpha=0.1315$  para F cobre

$\alpha=0.1315$  para F acero

El pronóstico para el mes de abril-2015 fue de 490 libras de cobre y de 1470.4 libras de acero, con un MSE de 25,6096. (Cobre) y 150.066,18(acero); el MAD de este pronóstico otorgo el valor de 217.033(cobre) y 626.98 (acero). Siguiendo el proceso de análisis de errores, el MAPE de este pronóstico señaló un nivel de error porcentual de 82%(cobre) y 110% (acero) respectivamente. La señal de rastreo obtuvo un valor de -14.46 (cobre) y -15.02 (acero).

Tabla 16: Resumen de resultados Suavizados exponenciales (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos)

	Ratio/F. Method	S. Exponencial
<b>COBRE</b>	MSE	256,096.91
	MAD	217.03
	RSFE	-3,139.21
	MAPE	0.82
	T. Signal	-14.46
<b>ACERO</b>	MSE	1,193,594.54
	MAD	626.99
	RSFE	-9,417.62
	MAPE	1.10
	T. Signal	-15.02

**Ver:**

Anexo 12: Ajuste exponencial para transformadores y autotransformadores monofásicos

Anexo 13 y 14: Gráficos del Suavizado Exponencial vs Demanda real de los transformadores y autotransformadores monofásicos

#### **3.3.1.4 Modelo de Holt Winters: Suavizado Exponencial con ajuste por tendencia**

El modelo de Holt-Winters, fue el cuarto método para verificar el comportamiento de la demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos, lo cual es utilizado para patrones de series de tiempo con irregularidad, siguiendo una tendencia.

**Las Formulas empleadas para utilizar este método son las siguientes:**

$$S_{t+1} = \alpha(A_t) + (1 - \alpha)(S_t + T_t)$$

$$T_{t+1} = \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta)(T_t)$$

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1}$$

**F<sub>t+1</sub>**: Pronostico con tendencia corregida para el periodo t+1

**S<sub>t</sub>**: Pronostico inicial para el periodo t

**T<sub>t</sub>**: tendencia para el periodo t

**B**: Constante con ajuste de tendencia (Ballou, R., 2008) (Sunil, Chopra, 2008)

Para poder determinar el Nivel y la tendencia fue necesario calcular por medio de regresión lineal, utilizando la función de análisis de datos en Excel, la ecuación lineal de la recta.

*En el modelo de Holt-Winters la constante es utilizada como el nivel (Lt-1 o St-1) y el multiplicador de la variable dependiente 3.29 como la tendencia (Tt-1).*

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	17.8302671	130.366484	0.136770331
Variable X 1	22.3566366	8.13731667	2.747421239

*Ecuación Lineal cobre= 17.83+ 22.35X*

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t
Intercepción	53.49080144	391.099452	0.13677033
Variable X 1	67.06990994	24.41195	2.74742124

*Ecuación Lineal acero = 53.49+ 67.06X*

*Una vez, encontrados los parámetros iniciales, se procedió a calcular el pronóstico sumando el nivel y la tendencia, como lo demuestra la fórmula:*

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1}$$

Por otra parte, para obtener el modelo optimo del pronóstico, se procedió a utilizar Solver para determinar el coeficiente alfa (a) y beta (B) para obtener el menor error cuadrático posible. El sistema de Excel calculo los siguientes resultados:

A	0.4
1-a	0.6
B	0.8

### ***Determinación F acero y F cobre***

Estos coeficientes se utilizaron para calcular los pronósticos del consumo de acero y cobre.

El pronóstico para Abril-2015 fue de 304 libras de cobre y 902 libras de acero. El MSE de este pronóstico fue 45,972.73 (cobre) y 413,754.54 (acero); el MAD calculo un nivel de 147.40 (cobre) y 442.20 (acero): el MAPE obtuvo un nivel de error porcentual de 1.10 (cobre) y 1.10 (acero); el nivel de rastreo calculo un valor de -5.54 (cobre) y 2,78(acero); finalmente el RSFE determino una sumatoria total de errores de -817.05 (cobre) y -817.05

Tabla 17: Resumen de resultados Modelo de Holt-Winters (ratios de nivel de error en los transformadores y autotransformadores monofásicos)

	Ratio/F. Method	Mo. Holt
<b>COBRE</b>	MSE	45,972.73
	MAD	147.40
	RSFE	-817.05
	MAPE	1.10
	T. Signal	-5.54
<b>ACERO</b>	MSE	413,754.54
	MAD	442.20
	RSFE	2,451.14
	MAPE	1.10
	T. Signal	5.54

**Ver:**

Anexo 15: Método de Holt Winters para transformadores y autotransformadores monofásicos

Anexos 16 y 17: Gráficos del método Holt-Winters vs Demanda real en transformadores y autotransformadores monofásicos

### 3.3.2 Transformadores y Autotransformadores Trifásicos

#### 3.3.2.1 Promedio Móvil Simple

Este es el primer método de pronóstico empleado para verificar su grado de efectividad dentro de nuestro análisis en la selección de pronósticos de los transformadores y autotransformadores trifásicos. Este método se basa en la siguiente fórmula;

$$\hat{x}_t = \frac{\sum_{t=1}^n X_{t-1}}{n}$$

$\hat{x}_t =$  promedio de ventas en unidades periodo  $t$

$\Sigma =$  Sumatoria de Datos

$X_{t-1} =$  Ventas reales en unidades de los periodos anteriores a  $t$   $n =$  número de datos

El tiempo de análisis con menor error cuadrático de pronóstico es de 5 meses y el pronóstico para el mes de Abril 2015 es de 508.02 lbs de Cobre y 914.44 lbs de Acero. Por otra parte el *Media Absolute Deviation* otorgo un resultado de 659.32 en relación al cobre y un valor de 1186 en relación al acero. El *Media Absolute Percentage Error* señaló un nivel de error promedio del 596% de igual manera que el acero y finalmente el *Tracking Signal* proyecto una muestra de 0.03. Finalmente, la suma de los Errores corrientes de Pronóstico. *Running sum of forecasting errors*, mostro un valor 17.18 en el cobre y 30.93 en el acero.

Tabla 18: Resumen de resultados Promedio móvil simple (ratios de nivel de error transformadores y autotransformadores trifásicos)

	Ratio/F. Method	Pro. Movil S.
<b>COBRE</b>	MSE	986,215.91
	MAD	659.32
	RSFE	17.18
	MAPE	5.96
	T. Signal	0.03
<b>ACERO</b>	MSE	3,195,339.54
	MAD	1,186.86
	RSFE	30.93
	MAPE	596%
	T. Signal	0.03

**Ver:**

Anexo 18: Promedio Móvil simple en transformadores y autotransformadores trifásicos

Anexo 19 y 20: Gráficos del Promedio móvil vs Demanda Real en los transformadores y autotransformadores trifásicos

### 3.3.2.2 Promedio Móvil Ponderado

EL promedio móvil ponderado fue el segundo método de pronóstico utilizado para pronosticar la demanda de abril-2015.

La fórmula del promedio móvil ponderado es la siguiente:

$$Demand = (a)(Dt-1) + (b)(Dt-2) + \dots + (n)(Dt-n)$$

A, b, c etc., son ponderaciones que están relacionadas al número de meses del análisis para encontrar el pronóstico

Dt-n=Es la demanda pasada ligada a cada mes, que tendrá en ponderación, en función del número de meses para el análisis.

La ponderación óptima para el análisis fue la siguiente:

5meses	Error c
a	50%
b	10%
c	25%
d	10%
e	5%
	100%

El tiempo designado para encontrar la óptima proyección dentro de este tipo de pronóstico, fue de 5 meses, en similitud al método de promedio móvil simple. La proyección al mes de Abril-2015 fue de 494 lb de Cobre y de 890 lb de Acero, con un *MSE* de 1,190,687.77 con respecto a las libras de Cobre y 3,412,694.37 el error cuadrático promedio de las la libras de Acero. El *Media absolute error* del tipo de pronóstico fue de 687.04 en el análisis del cobre y 1,255.86 en el acero.

En adición, el RSFE dentro del análisis del cobre obtuvo un valor de 261.82 y dentro del acero de -343.00. Continuando con el análisis de errores para selección de pronóstico, el *Tracking Signal* señaló un valor de 0.38 en el cobre y -0.27 el acero.

Tabla 19: Resumen de resultados Promedio móvil ponderado (ratios de nivel de error transformadores y autotransformadores trifásicos)

	Ratio/F. Method	Pro. Movil P.
COBRE	MSE	1,190,687.77
	MAD	687.04
	RSFE	261.82
	MAPE	8.39
	T. Signal	0.38
ACERO	MSE	3,412,694.37
	MAD	1,255.86
	RSFE	-343.00
	MAPE	763%
	T. Signal	-0.27

**Ver:**

Anexo 21: Promedio móvil ponderado en transformadores y autotransformadores trifásicos

Anexo 22: Promedio móvil ponderado en transformadores y autotransformadores trifásicos (acero)

### 3.3.2.3 Suavizado Exponencial

Este fue el tercer método empleado para el análisis de selección de pronósticos dentro del marco de transformadores y autotransformadores trifásicos .

La fórmula para determinación del pronóstico es la siguiente:

$$F_{t+1} = \alpha(D_t) + (1 - \alpha)(F_t)$$

F<sub>t+1</sub>: Pronostico para el próximo periodo

a: Coeficiente utilizado para medir la ponderación que es mayor a 0 y menor a 1

Dt: Demanda del periodo anterior (Ballou, R., 2008)

Mediante el uso de la herramienta de solver, herramienta de Excel, se determinó el nivel de alfa óptimo para reducir el nivel del error cuadrático promedio.

a=0.3 para F cobre

a=0.3 para F acero

El pronóstico para el mes de abril-2015 fue de 494.75 libras de cobre y de 890.54 libras de acero, con un MSE de 908,535.52 (cobre) y 2, 864,003.92 (acero); el MAD de este pronóstico otorgo el valor de 603.79 (cobre) y 1,086.82 (acero). Siguiendo el proceso de análisis de errores, el MAPE de este pronóstico señaló un nivel de error porcentual de 424% respectivamente. La señal de rastreo obtuvo un valor de -2.52 para ambas partes.

Tabla 20: Resumen de resultados Suavizado Exponencial (ratios de nivel de error transformador y autotransformadores trifásicos)

	Ratio/F. Method	S. Exponencial
<b>COBRE</b>	MSE	908,535.52
	MAD	603.79
	RSFE	-1,521.61
	MAPE	4.24
	T. Signal	-2.52
<b>ACERO</b>	MSE	2,864,003.92
	MAD	1,086.82
	RSFE	-2,738.90
	MAPE	424%
	T. Signal	-2.52

**Ver:**

Anexo 25: Suavizado Exponencial en los transformadores y autotransformadores trifásicos

Anexo 26 y 27 : Gráficos del S. Exponencial vs Demanda Real en los transformadores y autotransformadores trifásicos

**3.3.2.4 Modelo de Holt-Winters: Suavizado Exponencial con ajuste por tendencia**

El modelo de Holt-Winters, fue el cuarto método para verificar el comportamiento de la demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos, lo cual es utilizado para patrones de series de tiempo con irregularidad, siguiendo una tendencia.

Las fórmulas empleadas para utilizar este método son las siguientes:

$$S_{t+1} = \alpha(A_t) + (1 - \alpha)(S_t + T_t)$$

$$T_{t+1} = \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta)(T_t)$$

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1}$$

$F_{t+1}$ : Pronostico con tendencia corregida para el periodo t+1

$S_t$ : Pronostico inicial para el periodo t

$T_t$ : tendencia para el periodo t

$B$ : Constante con ajuste de tendencia (Ballou, R., 2008) (Sunil, Chopra, 2008)

Para poder determinar el Nivel y la tendencia fue necesario calcular por medio de regresión lineal, utilizando la función de análisis de datos en Excel, la ecuación lineal de la recta.

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	690.890688	335.446901	2.05961267
	-	-	-
Variable X 1	5.67838124	20.9381858	0.27119739

*Ecuación Lineal cobre= 690.89+ 5.67X*

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	1243.60324	603.804422	2.05961267
	-	-	-
Variable X 1	10.2210862	37.6887344	0.27119739

*Ecuación lineal acero= 1243.604+10.22X*

*Una vez, encontrados los parámetros iniciales, se procedió a calcular el pronóstico sumando el nivel y la tendencia, como lo demuestra la fórmula:*

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1}$$

Por otra parte, para obtener el modelo optimo del pronóstico, se procedió a utilizar Solver para determinar el coeficiente alfa (a) y beta (B) para obtener el menor error cuadrático posible. El sistema de Excel calculo los siguientes resultados:

A	0.23
1-a	0.77
B	0.46

### **Determinación F acero y F cobre**

Estos coeficientes se utilizaron para calcular los pronósticos del consumo de acero y cobre.

El pronóstico para Abril-2015 fue de 91 libras de cobre y 164 libras de acero. El MSE de este pronóstico fue 273,669.81 (cobre) y 1,089,436.21 (acero); el MAD calculo un nivel de 335.40 (cobre) y 603.72 (acero): el MAPE obtuvo un nivel de error porcentual 398% en ambas partes: el nivel de rastreo calculo un valor de 0.32 (cobre) y -0,32(acero); finalmente el RSFE determinó una sumatoria total de errores de 105.94 (cobre) y -190.69(acero) .

Tabla 21: Resumen de resultados Modelo Holt-Winters (ratios de nivel de en transformadores y autotransformadores trifásicos)

	Ratio/F. Method	Mo. Holt
COBRE	MSE	273,669.81
	MAD	335.40
	RSFE	105.94
	MAPE	3.98
	T. Signal	0.32
ACERO	MSE	1,089,436.21
	MAD	603.72
	RSFE	-190.69
	MAPE	398%
	T. Signal	-0.32

**Ver:**

Anexo 28: Método de Holt Winters en transformadores y autotransformadores trifásicos

Anexo 29 y 30: Gráficos del Método Holt Winters vs Demanda Real en los transformadores y autotransformadores trifásicos

### **3.4 Evaluación y selección de métodos de pronósticos**

#### **3.4.1 Método de pronóstico para los Transformadores y Autotransformadores Monofásicos**

Al concluir con este método de prueba y error, utilizando cada método de pronóstico mencionado anteriormente, se procedió a calcular cada uno de los ratios que miden la aceptabilidad, proximidad y margen de error porcentual para poder darnos una idea global y más detallada, acerca de qué tipo de pronóstico es el necesario para la predicción futura de la demanda, en cuestión de los transformadores y autotransformadores monofásicos, que se encuentran dentro del análisis de cada pronóstico.

La tabla de decisión es la siguiente:

Tabla 22: Tabla con los resultados de cada pronóstico consolidado en relación al nivel de error y aceptación (transformadores y autotransformadores monofásicos)

	Ratio/F. Method	Pro. Movil S.	Pro. Movil P.	S. Exponencial	Mo. Holt
<b>COBRE</b>	MSE	135,240.31	131,908.72	256,096.91	45,972.73
	MAD	224.59	201.34	217.03	147.40
	RSFE	-998.99	-1,536.84	-3,139.21	-817.05
	MAPE	1.11	0.99	0.82	1.10
	T. Signal	-4.45	-7.63	-14.46	-5.54
<b>ACERO</b>	MSE	1,217,162.76	1,187,178.49	1,193,594.54	413,754.54
	MAD	673.59	604.01	626.99	442.20
	RSFE	-2,996.96	-4,610.51	-9,417.62	2,451.14
	MAPE	1.11	0.99	1.10	1.10
	T. Signal	-4.45	-7.63	-15.02	5.54

El pronóstico adecuado para la demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos es el modelo de Holt-Winters (modelo con corrección por nivel de tendencia), debido a que obtuvo el menor número en cada ratio que mide el nivel de error y aceptación, en comparación al resto de los pronósticos empleados. Cabe recalcar, que sin considerar los ratios para selección de pronóstico, gráficamente la curva del pronóstico del modelo de Holt-Winters estuvo más apegada al comportamiento de los transformadores y autotransformadores monofásicos en función del consumo por libras de cobre y acero.

### 3.4.2 Método de pronóstico para los Transformadores y Autotransformadores Trifásicos

En base a los resultados obtenidos en cada método de pronóstico empleados en la demanda de los transformadores y autotransformadores trifásicos obtuvimos la siguiente información:

Tabla 23: Tabla con los resultados de cada pronóstico consolidado en relación al nivel de error y aceptación (transformadores y autotransformadores trifásicos)

	Ratio/F. Method	Pro. Movil S.	Pro. Movil P.	S. Exponencial	Mo. Holt
<b>COBRE</b>	MSE	<b>986,215.91</b>	1,190,687.77	908,535.52	<b>273,669.81</b>
	MAD	<b>659.32</b>	687.04	603.79	<b>335.40</b>
	RSFE	<b>17.18</b>	261.82	-1,521.61	<b>105.94</b>
	MAPE	<b>5.96</b>	8.39	4.24	<b>3.98</b>
	T. Signal	<b>0.03</b>	0.38	-2.52	<b>0.32</b>
<b>ACERO</b>	MSE	<b>3,195,339.54</b>	3,412,694.37	2,864,003.92	<b>1,089,436.21</b>
	MAD	<b>1,186.86</b>	1,255.86	1,086.82	<b>603.72</b>
	RSFE	<b>30.93</b>	-343.00	-2,738.90	<b>-190.69</b>
	MAPE	<b>596%</b>	763%	424%	<b>398%</b>
	T. Signal	<b>0.03</b>	-0.27	-2.52	<b>-0.32</b>

El pronóstico con menor error cuadrático promedio, desviación absoluta estándar y error porcentual promedio fue el método de Holt-Winters. Por otro lado, el método con menor suma de errores corrientes y la señal de rastreo más acercada a 0 la obtuvo el método de Promedio Móvil simple. Esto se debe a que el comportamiento de la demanda de los transformadores y autotransformadores trifásicos tiende a tener un comportamiento regular con el tiempo, convirtiendo al

método de promedio móvil simple como una herramienta eficaz para pronosticar la demanda.

En este caso, el método óptimo por el momento sería el promedio Móvil simple, sin descartar el método de método de Holt Winters , y se debería revisar el comportamiento de la demanda, usando los 2 pronósticos por cierto tiempo para verificar su permanencia.

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL Y MANEJO DE INVENTARIOS**

Para resolver y determinar una estrategia vial, esta debe responder las siguientes preguntas fundamentales, que son parte del control y el manejo que se debe llevar durante el proceso de adquisición y control.

- a. ¿Qué cantidad se tener en el Inventario?
- b. ¿Cuándo se debe reponer el Inventario?
- c. ¿Cuánto se debe reponer el Inventario?
- d. ¿Cómo gestionar el Inventario?
- e. ¿Con que eficiencia se gestiona el Inventario?

Para responder esas preguntas fundamentales, se ha escogido utilizar una estrategia adaptativa, que involucran los pronósticos de la demanda para realizar un estimado y el sistema de manejo de inventario Q para encontrar las cantidades óptimas de pedido, el mínimo en existencias y el nivel máximo de existencias que se debe tener en inventarios.

Los cálculos que se derivan del método de punto de reorden se efectuaran en los inventarios considerados categoría A, por su grado relevancia y servirán como modelo para el resto de los inventarios.

#### **4.1 Recopilación de la información pertinente previo al desarrollo de la estrategia**

En base al planteamiento anterior, se seleccionó las líneas de materiales que involucran las láminas de acero no granulado y las láminas y alambres de cobre categoría A que son las siguientes.

## Láminas de Acero Clase A

### Láminas de Acero fase 1 no granulado Clase A

Tabla 24 Láminas de acero fase 1 no granulado clase A

Laminas 1f	Consumo %	Categoría
lam.1f acero 100	16%	A
lam. 1f acero ei50	18%	A
lam.1f acero ei 80	13%	A
lam. 1f acero ei60	9%	A
lam. 1f acero ei44	10%	A
lam. 1f acero ei38	5%	A
lam. 1f acero ei 25	8%	A
lam.1f acero ei 70	6%	A

### Láminas de Acero fase 3 no granulado Clase A

Tabla 25 Láminas de acero no granulado fase 3 Clase A

lamina	Consumo %	Categoría
lam.3f. Acero ei50	33%	A
lam.3f.Aceroei60	27%	A

## Alambres de Cobre Clase A

**Tabla 26 Alambres de cobre clase A**

Tipo de Alambre	Consumo %	<i>Categoría</i>
Al.esm.rec.3,25x8,2mm	16%	A
Al. Esm. No. 10	16%	A
Al. Esm. Cuadrado.09	11%	A
Al. Esm. Cuadrado.08	7%	A
Al. Esm. No. 11	6%	A
Al. Esm. No. 12	5%	A
Al. Esm. No. 13	4%	A
Al. Esm. Cuadrado.07	4%	A
Al.esm.rec.2,25x8,5mm	3%	A
Al. Esm. Cuadrado.06	3%	A
Al. Esm. No. 15	2%	A
Al. Esm. No. 14	2%	A
Al. Esm. No. 16	2%	A

## **4.2 Determinación de los métodos de pronóstico**

El siguiente paso es la determinación del pronóstico para ajustarlo como la demanda previo al cálculo de las formulas concernientes al Punto de Reorden.

Recapitulando el tema de la selección de los métodos de pronósticos estos fueron los métodos seleccionados para cada producto.

- Transformadores y autotransformadores monofásicos: Método de Pronostico Holt Winters (Suavizado Exponencial con corrección por tendencia)
- Transformadores y autotransformadores trifásicos: Método de Pronostico Holt Winters (Suavizado Exponencial con corrección por tendencia.

### **4.2.1 Pronósticos de consumo de las libras de acero y cobre por línea de productos**

Estos pronósticos fueron calculados mensualmente dentro de cada método y en cada línea de productos.

Por motivos de ajuste de la información a las formulas, se consideraron los valores reales de Enero, Febrero y marzo del 2015 y se adiciono el pronóstico del mes de Abril, para así ser multiplicado por 3 y encontrar el pronóstico de consumo anual. Transformadores y autotransformadores Monofásicos:

**Tabla 27: Pronóstico ajustado anual de cobre en transformadores y autotransformadores monofásicos**

<b>Pronos. Ajus. Anual Cobre</b>	
<b>Jan-2015</b>	305.58
<b>Feb-2015</b>	1005.85
<b>Mar-2015</b>	305.86
<b>Apr-2015</b>	304.0737712
<b>Anual F.</b>	5764.12

**Tabla 28 Pronostico ajustado anual cobre en trans. y auto monofásicos**

<b>Pronos. Ajus. Anual Acero</b>	
<b>F. Jan-2015</b>	916.75
<b>F. Feb-2015</b>	3017.56
<b>F. Mar-2015</b>	917.59
<b>F. Apr-2015</b>	912.2213135
<b>Annual F.</b>	17292.37

***Transformadores y autotransformadores Trifásicos:***

**Tabla 29: Pronóstico ajustado anual en cobre para trans. y auto. trifásicos**

<b>Pronos. Ajus. Anual Cobre</b>	
<b>Jan-2015</b>	48.21
<b>Feb-2015</b>	1143.30
<b>Mar-2015</b>	150.00
<b>F. Apr-2015</b>	159.9432693
<b>Anual F.</b>	4504.34

**Tabla 30: Pronóstico ajustado anual en acero para trans. y auto. trifásicos**

<b>Pronos. Ajus. Anual Acero</b>	
<b>Jan-2015</b>	86.77
<b>Feb-2015</b>	2057.94
<b>Mar-2015</b>	270.00
<b>F. Apr-2015</b>	287.897885
<b>Anual F.</b>	8107.82

### 4.3 Determinación del nivel de servicio adecuado previo al cálculo de las formulas del Punto de Reorden

Con el fin de determinar el nivel de servicio óptimo se tomó un tipo de lámina de acero como muestra y calcular la cantidad máxima de pedido (Valor Max), inventario de seguridad (SS), Duración de Inventario y el valor del inventario en Dólares.

Con el propósito de evaluar varios escenarios se tomaron en consideración los siguientes niveles de confianza (55%, 60%, 70%, 80%, 85%, 90%, 92%, 95%, 97%, 99%). Estos valores determinan el nivel de abastecimiento de inventario de seguridad y el punto de pedido optimo, otorgando un tiempo de duración de inventario, y a su vez determinan el monto de inversión en dólares del inventario. Estas fueron las fórmulas para calcular los valores:

Fórmula para la determinación del inventario de seguridad (SS)

$$IS = (b * \delta_D * \sqrt{LT}) + (\sqrt{LT} * \frac{D}{360})$$

b: valor z ( proveniente de la tabla de distribución normal para nivel de confianza)

Sd: desviación estándar de la demanda

LT: Lead Time, tiempo de entrega del pedido

D: Demanda Anual

Fórmula para la determinación de la cantidad óptima de pedido (QoP)

$$Q_{OPT} = \sqrt{\frac{2DC_p}{C_a C_u}}$$

Cp: Valor mínimo del pedido

Ca: Costo del manejo de pedido

Cu: Costo Unitario de las existencias

D: Demanda Anual

Fórmula para calcular el punto de reorden (PRO)

$$PP = IS + \left( LT * \frac{D}{360} \right)$$

IS: Inventario de seguridad (SS)

D: Demanda Anual

LT: Lead Time, tiempo de entrega del pedido

Fórmula para calcular el nivel Max de existencias (Q. Max)

$$Q_{\max} = Q_{\text{opt}} + IS$$

Para la evaluación de niveles de servicio se utilizaron los siguientes valores

Tipo de lamina	Precios	Consumo Desv.		QEP
		Promedio	Estandar	
lam.1f acero 100	1.16	1445.55	40.72	891

Tabla 31: Tabla decisión con respecto al nivel de servicio deseado

Conf. Level/Service Level	Valor z	SS	PRO	Qmax	QMedia	Valor Qmax	R. Inv.	D. Inv. E.	Valor Inv
55%	0.13	58	215	273	503	\$ 316.52	3	2	\$ 249.09
60%	0.25	89	245	334	534	\$ 387.31	3	2	\$ 284.48
70%	0.53	160	316	476	605	\$ 552.48	2	3	\$ 367.07
75%	0.65	190	347	537	636	\$ 623.27	2	3	\$ 402.46
80%	0.85	241	398	639	686	\$ 741.25	2	3	\$ 461.45
85%	1.03	287	444	731	732	\$ 847.43	2	4	\$ 514.54
90%	1.29	353	510	863	798	\$ 1,000.80	2	4	\$ 591.23
92%	1.41	384	540	924	829	\$ 1,071.59	2	4	\$ 626.62
95%	1.64	442	599	1041	887	\$ 1,207.27	2	5	\$ 694.46
97%	1.88	503	660	1163	948	\$ 1,348.84	2	5	\$ 765.25
99%	2.33	618	774	1392	1063	\$ 1,614.30	1	6	\$ 897.98

El nivel de servicio deseado para el posterior cálculos de inventarios es de 90%, que quiere decir que se cubrirá en un 90% el nivel de existencias, con un valor de inventario máximo estimado en \$1000,80 y un nivel de rotación esperado de 4 meses.

#### 4.4 Cálculo del Punto de Reorden en línea de materiales Categoría A

Una vez encontrado el nivel óptimo de servicio que permita tener una probabilidad de abastecimiento adecuada, se procedió a calcular la cantidad económica de pedido, inventario de seguridad, Nivel de Existencias Max, y Nivel de Existencias Mínimo.

#### 4.4.1 Alambres de Cobre

En este caso, se consideró el pronóstico anual de los transformadores monofásicos (5764.12) y los transformadores trifásicos (4504.34), se los sumo para encontrar el consumo total anual, debido a que el uso de los cables de cobre puede ser utilizado para la fabricación de cualquier tipo de transformador. Este valor total (10268.46) se prorateo con las ponderaciones de consumo promedio utilizado para calcular el análisis ABC anterior y de esa manera calcular los requerimientos de tipo de alambre.

Se consideró como la desviación estándar la calculada por medio del consumo promedio histórico para reducir el riesgo de incertidumbre.

Por otra parte existió un incremento sustancial en las órdenes de compra, y esto afecto al nivel de precios, creando una reducción por descuentos del 10%.

Debido a que el proveedor de alambres de cobre es local ( Electrocables) el lead time es de 3 días, lo cual fue considerado de acuerdo al tiempo promedio de entrega. El costo de mínimo de pedido para cada tipo de cable es de 5 dólares por pedido y el costo de manejo de inventario es del 3%, por el motivo que no existen muchos costos de manejo.

Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$Q_{OPT} = \sqrt{\frac{2DC_p}{C_a C_u}}$$

$$IS = (b * \delta_D * \sqrt{LT}) + (\sqrt{LT} * \frac{D}{360})$$

$$PP = IS + \left( LT * \frac{D}{360} \right)$$

$$Q_{max} = Q_{opt} + IS$$

La cantidad optima de pedido se encuentra en la fila de PRO(Punto de Reorden),

Tabla 32: Cálculo de las formulas correspondientes al Sistema de Manejo y control Q (cobre)

Tipo de Alambre	Precios Desc.	Pr. Con. Tot	Des. Est	QEP	SS	PRO	Q promedio	Qmax
Al.esm.rec.3,25x8,2mm	\$ 5.96	1614.21	68,19	367.9	160.1	163.7	344.08	528.0
Al. Esm. No. 10	\$ 5.54	1665	66	387.7	155	168.7	348.64	542.5
Al. Esm. Cuadrado.09	\$ 5.76	1177	12	319.8	33	120.0	193.09	353.0
Al. Esm. Cuadrado.08	\$ 5.54	770	5	263.7	15	79.2	147.32	279.2
Al. Esm. No. 11	\$ 5.54	578	11	228.5	27	60.0	140.93	255.2
Al. Esm. No. 12	\$ 2.51	467	13	304.7	32	48.9	184.13	336.5
Al. Esm. No. 13	\$ 5.76	434	6	194.0	17	45.6	113.51	210.5
Al. Esm. Cuadrado.07	\$ 5.54	370	4	182.8	10	39.3	101.27	192.7
Al.esm.rec.2,25x8,5mm	\$ 5.96	336	19	167.9	44	35.8	127.72	211.7
Al. Esm. Cuadrado.06	\$ 5.54	294	1	163.0	5	31.7	86.20	167.7
Al. Esm. No. 15	\$ 5.58	221	9	140.8	22	24.3	92.29	162.7
Al. Esm. No. 14	\$ 6.54	210	1	126.7	4	23.2	67.52	130.9
Al. Esm. No. 16	\$ 5.77	194	7	129.5	17	21.6	81.52	146.2
Al. Esm. No. 18	\$ 4.25	181.57	4.40	146.1	10.7	20.4	83.77	156.8

### Cálculo de Costo pertinente Anual

$$CT = C_p \left( \frac{D}{Q} \right) + C_A \left( \frac{Q}{2} \right) + C_U(D)$$

C<sub>p</sub>: Costo minimo de pedido

D: Demanda anual Q: Cantidad de pedido

Ca: Costo de manejo de inventario

Cu: Costo unitario

Tabla 33: Cálculo del costo pertinente total en alambres de cobre

Tipo de Alambre	Precios Desc.	Costo Pertinente Total
Al.esm.rec.3,25x8,2mm	\$ 5.96	\$ 9,656.58
Al. Esm. No. 10	\$ 5.54	\$ 9,250.99
Al. Esm. Cuadrado.09	\$ 5.76	\$ 6,801.28
Al. Esm. Cuadrado.08	\$ 5.54	\$ 4,285.18
Al. Esm. No. 11	\$ 5.54	\$ 3,219.64
Al. Esm. No. 12	\$ 2.51	\$ 1,188.21
Al. Esm. No. 13	\$ 5.76	\$ 2,517.08
Al. Esm. Cuadrado.07	\$ 5.54	\$ 2,065.13
Al.esm.rec.2,25x8,5mm	\$ 5.96	\$ 2,018.56
Al. Esm. Cuadrado.06	\$ 5.54	\$ 1,642.99
Al. Esm. No. 15	\$ 5.58	\$ 1,243.81
Al. Esm. No. 14	\$ 6.54	\$ 1,385.00
Al. Esm. No. 16	\$ 5.77	\$ 1,128.10
Al. Esm. No. 18	\$ 4.25	\$ 781.97

#### **4.4.2 Cálculo del punto de reorden en las Láminas de acero no granulado**

En el cálculo de los valores relacionados con el punto de reorden se tomaron en consideración la siguiente información: El costo mínimo de pedido es de 35 dólares por pedido, el costo de manejo de inventario es del 11%, valor que se justifica por la razón que las láminas son importadas de Brasil, y dentro de ese

porcentaje se encuentran incluidos los gastos por seguros, impuestos, transporte. Por el volumen de compra ajustado se estimó una reducción de precios del 5%.

### **Láminas de acero fase 1**

Tabla 34: Cálculo de las formulas correspondientes al Sistema de Manejo y control Q (acero fase 1)

Tipo de lamina	Desv. Estandar	Cons. Ajust. F.	QEP	SS	PRO	Existencias M.	Existencias Max	Descuento	Costo Per. T
lam. 1f acero ei 25	14.00	3076.56	1202.77	166.14	420.71	767.53	1368.91	1.07	3438.99
lam. 1f acero ei 28	36.84	2849.78	1157.59	346.19	538.77	924.98	1503.78	1.07	3191.12
lam. 1f acero ei019	16.07	2177.98	1011.99	167.27	336.33	673.27	1179.26	1.07	2455.33
lam. 1f acero ei32	20.49	1735.54	903.37	195.14	315.95	646.83	1098.51	1.07	1969.10
lam. 1f acero ei38	10.39	1592.62	865.38	111.37	237.45	544.06	976.75	1.07	1811.66
lam. 1f acero ei44	10.76	1335.03	792.31	109.84	211.83	506.00	902.15	1.07	1527.30
lam. 1f acero ei50	17.62	967.04	674.33	158.71	214.79	495.88	833.04	1.07	1119.31

### **Láminas de Acero Fase 3**

Tabla 35: Cálculo de las formulas correspondientes al Sistema de Manejo y control Q (acero fase 3)

lamina	Cons. Ajus.	Desviacion Es.	Precios	QEP	SS	PRO	Existencias M	Existencias Max
lam.3f. Acero ei50	2655.40	76.67	1.26	1158.06	663.75	766.50	1242.78	1821.81
lam.3f.Aceroei60	2152.67	30.81	1.26	1042.69	285.58	425.64	806.92	1328.27

## Cálculo del costo pertinente total

### Láminas de Acero fase 1

Tabla 36: *Calculo del costo pertinente total (acero fase 1)*

Tipo de lamina	Costo Per. T
lam. 1f acero ei 25	3438.99
lam. 1f acero ei 28	3191.12
lam. 1f acero ei019	2455.33
lam. 1f acero ei32	1969.10
lam. 1f acero ei38	1811.66
lam. 1f acero ei44	1527.30
lam. 1f acero ei50	1119.31

### Láminas de acero fase 3

Tabla 37: *Cálculo del costo pertinente total (acero fase 3)*

lamina	Costo Per. T
lam.3f. Acero ei50	\$ 3,322.46
lam.3f.Aceroei60	\$ 2,706.36

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por medio del desarrollo del sistema de manejo y control de inventario Q, se ajustaron las ordenes de pedidos en función del tiempo de entrega y el pronóstico estimado en consumo por cada tipo de material que pertenece a cada línea de producto seleccionada, que es una manera viable para realizar pedidos de compra, con un nivel de servicio adecuado (90%), que cumple con las expectativas y el presupuesto estimado para la empresa.

Cabe recalcar que esta estrategia, podría tomarse como un indicador para la toma de decisiones, en base a su funcionamiento en el tiempo. Este sistema de manejo de inventario Q provocaría los siguientes efectos si fuera implementado en el proceso de compras de la empresa:

- En las líneas de materiales del cobre y acero para transformadores monofásicos, debido a que la demanda es superior a lo que la empresa ha estimado históricamente, se debería ajustar las cantidades de compra anuales, y se lograría un descuento en los precios de compras por volumen (reducción en los precios del 10% en alambres de cobre y del 8% en láminas de cobre monofásicas).
- Por otra parte dentro del presupuesto anual calculado por medio de la fórmula del costo pertinente anual destinado para la adquisición de las líneas de cobre, que son calculadas mediante la sumatoria de los pronósticos en libras de los transformadores monofásicos y trifásicos, existiría un incremento del 4,84% a nivel monetario dado que por medio de los pronósticos, se produjo un aumento relacionado a la demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos y una reducción en la demanda de los transformadores trifásicos.

Dentro de la línea de láminas de acero monofásicos se produjo un incremento del presupuesto del 202%, que es justificable debido a que la estimación del pronóstico tiene una tendencia positiva y se estimó un aumento significativo de la fabricación de los transformadores y autotransformadores monofásicos y a nivel gerencial se debería tomar en consideración asignar los recursos necesarios para la adquisición en tales cantidades, ***de lo contrario la empresa se encontraría con stockouts o faltantes de inventario dentro de una línea de productos cruciales con alto porcentaje de rentabilidad.***

- Por medio del pronóstico dentro de los transformadores y autotransformadores trifásicos, que refleja una tendencia negativa, se produciría una reducción en el presupuesto destinado para la adquisición de láminas de acero fase 3 del 41%, que significa, basándose en las tendencias del comportamiento de la demanda en el tiempo, que se deberían asignar menos recursos económicos para tal línea, a menos que existiera un cambio significativo dentro del mismo. Afortunadamente por el motivo que es el mismo proveedor de las láminas fase 1 y fase 3, permitiría un descuento del 5% en las líneas de láminas fase 3 en compensación del volumen de compra que se efectuaría en ambas líneas. ***Si se mantuvieran las compras utilizando el consumo histórico, la empresa se encontraría en sobre stock o markouts de inventario dentro de una línea de productos que es altamente rentable pero con menor rotación de inventario con relación a los transformadores monofásicos.***

- Si no se considerara el modelo de punto de reorden, en base al historial de compras y consumo por línea de productos, las diferencias serían mayores ya que no se considera las tendencias de la demanda y el nivel del stock de seguridad.

**Ver:**

Anexo 31: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de alambres de cobre tipo A con pronóstico y sin pronóstico de la demanda

Anexo 32: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de láminas de acero fase 1 tipo A con y sin pronóstico de la demanda

Anexo 33: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de láminas de acero fase 3 tipo A con y sin pronóstico de la demanda

- *Asumiendo los siguientes valores, tomados como muestra para el desglose de costos:*

*(En este caso se consideró que en la fabricación se utilizaría un tipo de cable para cada transformador, para mayor entendimiento del lector)*

*Transformador monofásico (potencia real 10 KVA)*

*Lbs de acero 180.00*

*Lbs de cobre 60.00*

*Precio inicial del cobre (lbs) \$ 6,63 por libra*

*Precio inicial del acero (lbs) \$1.16 por libra*

*Costo mano de obra \$58.84*

*Gastos administrativos \$38.08*

*Costo de los complementos \$68.00*

*Transformador trifásico (potencia real de 14 KVA)*

*Lbs de acero 347.50*

*Lbs de cobre 193.06*

*Precio inicial del cobre \$ 6.15 por libra*

*Precio inicial del acero \$1.26 por libra*

*Costo de mano de obra \$120.00*

*Reducción en precios de cobre en transformadores y autotransformadores monofásicos y trifásicos (10%)*

*Reducción en precios de láminas de acero fase 1 en transformadores y autotransformadores monofásicos (8%)*

*Reducción en precios de láminas de acero fase 3 en transformadores y autotransformadores trifásicos (5%)*

*Se constató lo siguiente:*

En base a los resultados del costo pertinente total y los cálculos del costo unitario por producto, aplicando los descuentos en los precios, **se puede constatar el impacto positivo de la estrategia de inventarios Q** (Punto de Reorden) **en el costo total de cada producto seleccionado reduciendo significativamente en un 7.31% (trans. y auto. monofásicos) y 7.23% (trans. y auto. Trifásicos) respectivamente, mejorando su rentabilidad en la empresa.**

Finalmente, en base a este método híbrido (pronóstico de demanda + estrategia de inventario Q) tendría un impacto positivo en las ventas, por

consiguiente que dentro de este sistema, se tiene en consideración un nivel de servicio deseado (nivel de confianza del 90%) que mantendría al inventario surtido con un nivel de probabilidad alto, sin olvidar que las ordenes de compras planteadas bajo este sistema se encontrarían ajustadas a la tendencia de la demanda y dentro de la rentabilidad al considerar una reducción en costos por la correcta utilización de recursos financieros.

Tablas 38 y 39: Comparación de costos unitarios por medio de precios iniciales vs precios con descuentos

### ***Transformadores y autotransformadores monofásicos***

Tabla 38 Comparación de costos unitarios en trans. y auto. Monofásicos

<b>Desglose de Costos</b>	<b>Costo Unitario In.</b>	<b>Costo Ajus. Precios</b>	
<b>COSTO COBRE</b>	\$ 397.80	\$ 358.02	
<b>COSTO ACERO</b>	\$ 208.80	\$ 192.10	
<b>COSTO MANO DE OBRA</b>	\$ 58.84	\$ 58.84	
<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS</b>	\$ 38.08	\$ 38.08	
<b>COSTO COMPLEMENTOS</b>	\$ 68.98	\$ 68.98	Var. Por. Costo Unitario
<b>COSTO TOTAL</b>	\$ 772.51	<b>\$ 716.02</b>	-7.31%

## Transformadores y autotransformadores trifásicos

Tabla 39: Comparación en costos unitarios en trans. y auto. trifásicos

Desglose de Costos	Costo Unitario In.	Costo Ajus. Pre	
<b>COSTO COBRE</b>	\$ 1,187.32	\$ 1,068.59	
<b>COSTO ACERO</b>	\$ 437.85	\$ 415.96	
<b>COSTO MANO DE OBRA</b>	\$ 150.00	\$ 150.00	
<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS</b>	\$ 64.00	\$ 64.00	
<b>COSTO COMPLEMENTOS</b>	\$ 107.00	\$ 107.00	Var. Porc. Costo Un.
<b>COSTO TOTAL</b>	\$ 1,946.17	<b>\$ 1,805.54</b>	-7.23%

*En base al sistema propuesto para el proceso de adquisición de la empresa, se desarrolló el siguiente modelo de políticas de inventario ajustado a la línea de productos por categorías*

## **Políticas de manejo y control de Inventarios**

En función de la información obtenida por los métodos de pronóstico y el sistema de Q de pedidos (Punto de Reorden) se seleccionaron las siguientes políticas de inventario:

Clasificación de Productos por sistema ABC:

### ***a) Para línea de productos clase A (80%) Alta participación en ventas***

- Utilizar como método de pronóstico el sistema de Holt Winters, ajustado a tendencia
- Revisar el sistema de pronósticos cada 4 meses por medio de las fórmulas que miden el nivel de error y aceptación del pronóstico (*MAD, RSFE, Squared Error, Tracking Signal*), si el pronóstico sobrepasa los límites de error, tomar en consideración el método de promedio móvil simple de 5 meses para calcular el pronóstico de la demanda
- En base a ese pronóstico, calcular las formulas del punto de reorden
- Considerar el punto de reorden como la cantidad optima de pedido.
- Revisar mensualmente el nivel de existencias en los inventarios de materiales de producción.
- Si el nivel de existencias actuales está por debajo del punto de reorden, tomar este valor como la cantidad de pedido para abastecimiento.

***b) Para línea de productos clase B y C (20%) Media y baja participación en ventas***

- Calcular las formulas del punto de reorden, por medio de consumo promedio histórico para encontrar el pedido óptimo.
- No pronosticar la demanda, a menos que exista un cambio significativo en su comportamiento.
- Considerar el punto de reorden como la cantidad optima de pedido.
- Revisar mensualmente el nivel de existencias en los inventarios de materiales de producción.
- Si el nivel de existencias actuales está por debajo del punto de reorden, tomar este valor como la cantidad de pedido para abastecimiento.

## GLOSARIO

### ***autotransformadores***

Tipo de transformador donde existe una bobina en común de tal manera que se produce la transferencia de energía, no solo por inducción sino por conducción., 42

### ***bobinado***

Proceso de fabricación, donde se establecen los conductores en el aparato eléctrico., 61

### ***Cantidad Máxima de Existencias***

Nivel máximo en existencias que se pueden adquirir., 41

### ***Cantidad óptima de pedido***

Un método que, tomando en cuenta la demanda determinista de un producto (es decir, una demanda conocida y constante), el costo de mantener el inventario, y el costo de ordenar un pedido, produce como salida la cantidad óptima de unidades a pedir para minimizar costos por mantenimiento del producto., 41

### ***componente aleatorio***

Es un componente difícil de predecir., 34

### ***comportamiento de la demanda***

Es la variabilidad de la demanda calculado dentro de un tiempo específico., 62

### ***costo de oportunidad***

Es un costo asignado en la empresa para medir las pérdidas si ese monto de dinero hubiera sido empleado para efectuar actividades económicas con mayor rendimiento económico., 27

### ***Desviación absoluta media (MAD)***

Es el valor promedio de los valores absolutos del pronóstico, menos la demanda del periodo., 35

### ***Error absoluto porcentual (MAPE)***

Es el error absoluto promedio expresado como porcentaje de la demanda., 35

### ***Error cuadrático promedio (MSE)***

Cálculo de la diferencia entre el pronóstico y su valor real para cuantificar su nivel de error., 34

### ***estrategias de manejo de inventario***

estrategia de manejo de inventario

Es una forma organizada y estructurada de administrar un proceso de compras., xxiv

### ***inventario***

Es un activo físico que otorga beneficios económicos por su respectiva venta., 30

### **La administración de cadena de suministros**

Es la racionalización de las actividades de un negocio de la oferta para maximizar el valor del cliente y obtener una ventaja competitiva en el mercado, 26

### **lead time**

Es el tiempo entre el inicio de un proceso y su finalización., 27

### **markouts**

Cuando el elemento ordenado muestra la cantidad a la mano pero el selector no es capaz de encontrar la cantidad esperada., 26

### **Medidas del Error del pronóstico**

Son formas de calcular la aceptabilidad de los métodos de pronóstico por medio del cálculo de sus errores., 34

### **métodos causales**

Métodos de pronóstico que relaciona la demanda con factores internos y externos., 33

### **Métodos Cualitativos**

Son métodos de pronóstico basados en el juicio o la experiencia, por expertos en el mercado., 32

### **métodos de pronostico**

Es una forma de preveer cuantitativamente la demanda en base al comportamiento de la

demanda o las tendencias de consumo., 31

### **métodos de simulación**

Es una forma de pronóstico que crea escenarios con varias técnicas de pronóstico., 33

### **Modelo de Holt.-Winters**

Método de pronóstico que calcula el nivel y la tendencia de la demanda., 33

### **Modelo de Winters**

Método de pronóstico que calcula el nivel y la tendencia en comportamientos de demanda con estacionalidad., 34

### **nivel de confianza**

La probabilidad de éxito en la estimación se representa con  $1 - \alpha$ , 60

### **nivel de servicio**

se define como el porcentaje de los pedidos que somos capaces de servir en el plazo adecuado. Este puede ser calculado en base a líneas, unidades y valor., 27

### **Política de inventario**

Es el conjunto de lineamientos, planteados y revisados para su ejecución dentro de SCM, que puntualizan los productos fabricados, la compra y movilización de materiales, para su respectiva distribución., 31

***promedio móvil simple***

es la media aritmética de los datos anteriores., 33

***punto de reorden***

El punto de reorden es la suma de la demanda de tiempo de entrega y las existencias de seguridad., 96

***Return on Investment***

Es un método de evaluación financiera que determina el porcentaje de retorno que los inversionistas reciben de su portafolio de inversiones., 27

***Señal de rastreo (Tracking Signal)***

Es el cociente entre la sumatoria de los errores de pronóstico y la desviación absoluta media., 36

***Series de tiempo***

Son métodos cuantitativos, basados en modelos estadísticos para pronosticar la demanda., 32

***sistema de manejo de inventario Q***

Sistema donde se emplean los cálculos de punto de reorden y cantidad económica de pedido., 96

***Sistema de revisión continua***

Sistema donde la posición del inventario se controla después de cada transacción o de forma continua., 38

***Sistema de revisión periódica***

Proceso de control que revisa constantemente el estado del inventario., 38

***Sistema Pull***

Sistema caracterizado por tener niveles bajos de inventario en los puntos de abastecimiento., 37

***Sistema Push***

Sistema usado cuando las cantidades de producción o de compra exceden los requerimientos a corto plazo., 36

***Stock de Seguridad***

Nivel mínimo de existencias para giros inesperados por el comportamiento aleatorio de la demanda., 41

***Stock Keeping Units***

Un número asignado a un producto por una tienda al por menor para identificar el producto, las opciones de productos, y el fabricante de la mercancía, 26

***stockouts***

Una situación en la que la demanda o requerimiento de un artículo no puede ser cumplida desde el actual inventario., 26

***Suavizamiento exponencial simple***

Técnica de pronóstico que mide por medio de coeficientes la demanda futura., 33

***Sumatoria de los errores Corrientes de pronostico (RSFE/Bias)***

Sumatoria de los errores entre el método de pronostico y la demanda real., 35

***transformador***

Aparato que sirve para transformar la tensión de una corriente eléctrica alterna sin modificar su potencia., 41

***transformador monofásico***

Tipo de transformador que dispone de dos columnas unidas en su parte superior e inferior por medio de un yugo., 41

***transformadores trifásicos***

Tipo de transformador que posee tres columnas dispuestas, unidades en sus partes inferior y superior por medio de yugos, sobre cada columna se incrustan los devanados primarios y secundarios de una fase, 42

## BIBLIOGRAFÍA

Ballou, R. H., & Mendoza Barraza, C. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. México: Pearson/Educación.

Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. Mexico: McGraw-Hill.

Chopra, S., Meindl, P., Fernandez Molina, A. S., & Carril Villarreal, M. del P. (2008). *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*. México: Pearson Educacion.

How to Calculate Return on Investment (ROI). (n.d.). Retrieved August 18, 2015, from <http://www.accountingscholar.com/roi.html>

Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., Malhotra, M. K., & Krajewski, L. J. (2008). *Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor*. México: Pearson Educación.

Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2012). *Statistical techniques in business & economics* (15th ed). New York, NY: McGraw-Hill/Irwin.

QUÉ ES UN TRANSFORMADOR ELÉCTRICO MONOFÁSICO (o TRAFIO). (n.d.). Retrieved from [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_trafo\\_mono/ke\\_trafo\\_mono\\_2.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_trafo_mono/ke_trafo_mono_2.htm)

Rodriguez, I. H. (2011, Abril 03). *Estrategias de Inventarios* . Retrieved from <http://es.slideshare.net/jhaltuzarra/manejo-y-control-de-inventarios>

Rivas, I. E. (2003). *Electronica 2000*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/webhp?sourceid=chrome>

[instant&ion=1&espv=2&es\\_th=1&ie=UTF-](https://www.google.com.ec/webhp?sourceid=chrome)

[8#q=calculos%20matematicos%20para%20ensamblar%20transformadores](https://www.google.com.ec/webhp?sourceid=chrome)

[&es\\_th=1](https://www.google.com.ec/webhp?sourceid=chrome)

Saavedra, S. G. (s.f.). *Seminario de Ingenieria Electrica*. Obtenido de

[http://www.cpraviles.com/fpblog/ELE/ELECTROTECNIA\\_TRANSFORMADORES.pdf](http://www.cpraviles.com/fpblog/ELE/ELECTROTECNIA_TRANSFORMADORES.pdf)

Schroeder, R. G., Norton, H., Orduña Trujillo, J., Goldstein, S. M., & Rungtusanatham, M. J. (2011). *Administración de operaciones: conceptos y casos contemporáneos*. México, D.F. [etc.]: McGraw-Hill.

Supply Chain Management (SCM) Definition | Investopedia. (n.d.). Retrieved August 18, 2015, from <http://www.investopedia.com/terms/s/scm.asp>

Support-Logistics Words. (n.d.). Retrieved August 18, 2015, from [http://www.wsgl.biz/en/support/log\\_words/logistics\\_word\\_im.htm](http://www.wsgl.biz/en/support/log_words/logistics_word_im.htm)

What Does SKU Mean? - Definition and Examples. (n.d.). Retrieved August 18, 2015, from <http://retail.about.com/od/glossary/g/SKU.htm>

## ANEXOS

### **Anexo 1: Categorización de los alambres de cobre por compras promedio (Análisis ABC)**

Tipo de Alambre	Compras Pro	Fre. Acumulada	Categoría
Al.esm.rec.3,25x8,2mm	15.04%	15.04%	A
Al. Esm. No. 10	12.92%	27.95%	A
Al. Esm. Cuadrado.09	12.60%	40.55%	A
Al. Esm. Cuadrado.08	7.38%	47.93%	A
Al. Esm. No. 11	5.42%	53.35%	A
Al. Esm. No. 13	4.65%	58.00%	A
Al.esm.rec.2,25x8,5mm	3.83%	61.84%	A
Al. Esm. Cuadrado.07	3.77%	65.60%	A
Al. Esm. Cuadrado.06	3.03%	68.64%	A
Al. Esm. No. 14	2.57%	71.20%	A
Al. Esm. No. 15	2.35%	73.55%	A
Al. Esm. No. 16	2.14%	75.70%	A
Al. Esm. No. 6	1.98%	77.68%	A
Al. Esm. No. 5	1.92%	79.59%	A
Al. Esm. No. 12	1.90%	81.50%	B
Al. Esm. No. 8	1.86%	83.36%	B
Al. Esm. No. 7	1.79%	85.15%	B
Al. Esm. No. 19	1.60%	86.75%	B
Al. Esm. No. 9	1.49%	88.24%	B
Al. Esm. No. 18	1.45%	89.69%	B
Al. Esm. No. 17	1.37%	91.06%	B
Al. Esm. No. 20	1.34%	92.40%	C

Al. Esm. No. 25	1.31%	93.71%	C
Al. Esm. No. 26	1.27%	94.98%	C
Al. Esm. No. 22	1.26%	96.24%	C
Al. Esm. No. 24	1.21%	97.45%	C
Al. Esm. No. 23	0.95%	98.40%	C
Al. Esm. No. 30	0.44%	98.84%	C
Al. Esm. No. 27	0.36%	99.20%	C
Al. Esm. No. 28	0.28%	99.48%	C
Al. Esm. No. 29	0.26%	99.75%	C
Al. Esm. No. 31	0.25%	100.00%	C
Al. Esm. No. 32	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 33	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 34	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 35	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 36	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 37	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 38	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 39	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 4	0.00%	100.00%	C
Al. Esm. No. 40	0.00%	100.00%	C
Al.esm.rec.3,50x10mm	0.00%	100.00%	C

**Anexo 2: Categorización de los cables de cobre por compras promedio (sistema ABC)**

Tipo de Alambre	Consumo promedio	Consumo %	Frecuencia Ac	Categoría
Al.esm.rec.3,25x8,2mm	1387.22	16%	16%	A
Al. Esm. No. 10	1430.80	16%	32%	A
Al. Esm. Cuadrado.09	1011.67	11%	43%	A
Al. Esm. Cuadrado.08	661.72	7%	51%	A
Al. Esm. No. 11	496.80	6%	57%	A
Al. Esm. No. 12	401.00	5%	61%	A
Al. Esm. No. 13	372.86	4%	65%	A
Al. Esm. Cuadrado.07	318.20	4%	69%	A
Al.esm.rec.2,25x8,5mm	288.87	3%	72%	A
Al. Esm. Cuadrado.06	252.94	3%	75%	A
Al. Esm. No. 15	189.96	2%	77%	A
Al. Esm. No. 14	180.51	2%	79%	A
Al. Esm. No. 16	166.31	2%	81%	A
Al. Esm. No. 18	156.03	2%	83%	B
Al. Esm. No. 17	153.75	2%	85%	B
Al. Esm. No. 6	152.14	2%	86%	B
Al. Esm. No. 5	149.98	2%	88%	B
Al. Esm. No. 7	126.55	1%	89%	B
Al. Esm. No. 19	126.47	1%	91%	B
Al. Esm. No. 20	101.47	1%	92%	B
Al. Esm. No. 9	96.67	1%	93%	C
Al. Esm. No. 24	95.32	1%	94%	C
Al. Esm. No. 26	91.74	1%	95%	C
Al. Esm. No. 25	84.97	1%	96%	C
Al. Esm. No. 22	76.86	1%	97%	C
Al. Esm. No. 8	72.05	1%	98%	C
Al. Esm. No. 23	59.74	1%	99%	C

Al. Esm. No. 30	35.00	0%	99%	C
Al. Esm. No. 27	25.25	0%	99%	C
Al. Esm. No. 29	17.85	0%	100%	C
Al. Esm. No. 28	16.82	0%	100%	C
Al. Esm. No. 31	11.03	0%	100%	C
Al. Esm. No. 34	10.00	0%	100%	C
Al. Esm. No. 35	5.35	0%	100%	C
Al. Esm. No. 33	0.63	0%	100%	C
Al. Esm. No. 32	0.00	0%	100%	C
Al. Esm. No. 36	0.00	0%	100%	C
Al. Esm. No. 37	0.00	0%	100%	C
Al. Esm. No. 38	0.00	0%	100%	C
Al. Esm. No. 39	0.00	0%	100%	C
Al. Esm. No. 4	0.00	0%	100%	C
Al. Esm. No. 40	0.00	0%	100%	C
Al.esm.rec.3,50x10mm	0.00	0%	100%	C

**Anexo 3: Cuadro de la demanda de los transformadores y autotransformadores monofásicos (2013-2015)**

MES	# unid	Lbs cobre	Lbs Acero
Total Jan-13	5	77	232
Total Feb-13	29	222	667
Total Mar-13	8	38	114
Total Apr-13	13	71	212
Total May-13	41	622	1867
Total Jun-13	16	35	106
Total Jul-13	36	313	938
Total Aug-13	13	67	201
Total Sep-13	14	128	384
Total Oct-13	16	104	311
Total Nov-13	10	104	311
Total Dec-13	4	27	82
Total Jan-14	33	213	640
Total Feb-14	90	401	1202
Total Mar-14	44	191	573
Total Apr-14	39	237	711
Total May-14	20	177	530
Total Jun-14	54	144	433
Total Jul-14	93	1625	4876
Total Aug-14	35	107	322
Total Sep-14	58	260	780
Total Oct-14	45	515	1546
Total Nov-14	39	714	2141
Total Dec-14	52	921	2764
Total Jan-15	25	306	917
Total Feb-15	51	1006	3018
Total Mar-15	44	306	918

**Anexo 4: Cuadro de la demanda de los transformadores y autotransformadores trifásicos (2013-2015)**

MES	# unid	Lbs cobre	Lbs Acero
Total Jan-13	1	38.26	68.88
Total Feb-13	8	301.80	543.25
Total Mar-13	2	23.41	42.14
Total Apr-13	6	1320.32	2376.58
Total May-13	4	271.08	487.95
Total Jun-13	20	4195.10	7551.18
Total Jul-13	0	0.00	0.00
Total Aug-13	3	112.56	202.61
Total Sep-13	1	14.95	26.92
Total Oct-13	4	671.83	1209.29
Total Nov-13	5	230.20	414.37
Total Dec-13	2	486.88	876.38
Total Jan-14	5	250.00	450.00
Total Feb-14	3	1143.30	2057.94
Total Mar-14	6	292.5009844	526.501772
Total Apr-14	3	1143.30	2057.94
Total May-14	5	29.84	53.71
Total Jun-14	3	1143.30	2057.94
Total Jul-14	2	383.37	690.06
Total Aug-14	10	711.68	1281.03
Total Sep-14	18	1012.15	1821.87
Total Oct-14	1	191.68	345.03
Total Nov-14	7	602.15	1083.87
Total Dec-14	6	596.45	1073.62
Total Jan-15	4	48.21	86.77
Total Feb-15	3	1143.30	2057.94
Total Mar-15	3	150.00	270.00

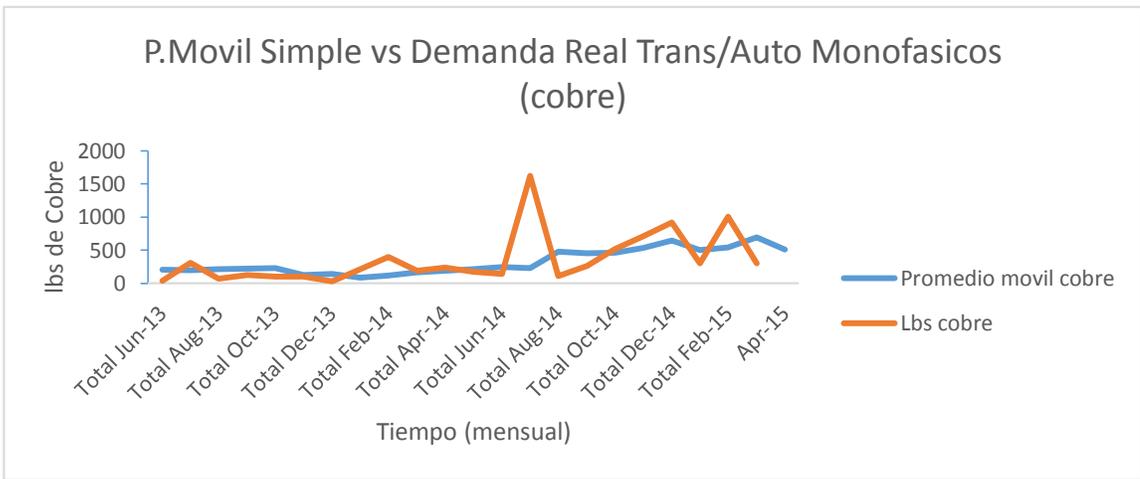
**Anexo 5: Promedio Móvil Simple (5meses) Trans. Monofásicos**

MES	# unid	Lbs cobre	Lbs Acero	5 meses			
				Promedio movil cobre	error Cuadratico	Promedio movil acero	error cuadratico
<b>Total Jan-13</b>	5	77	232				
<b>Total Feb-13</b>	29	222	667				
<b>Total Mar-13</b>	8	38	114				
<b>Total Apr-13</b>	13	71	212				
<b>Total May-13</b>	41	622	1867				
<b>Total Jun-13</b>	16	35	106	206	29133	618	262201
<b>Total Jul-13</b>	36	313	938	198	13177	593	118597
<b>Total Aug-13</b>	13	67	201	216	22116	647	199041
<b>Total Sep-13</b>	14	128	384	222	8783	665	79046
<b>Total Oct-13</b>	16	104	311	233	16730	699	150572
<b>Total Nov-13</b>	10	104	311	129	660	388	5936
<b>Total Dec-13</b>	4	27	82	143	13344	429	120097
<b>Total Jan-14</b>	33	213	640	86	16214	258	145930
<b>Total Feb-14</b>	90	401	1202	115	81553	346	733979
<b>Total Mar-14</b>	44	191	573	170	451	509	4056
<b>Total Apr-14</b>	39	237	711	187	2480	562	22324
<b>Total May-14</b>	20	177	530	214	1392	642	12527
<b>Total Jun-14</b>	54	144	433	244	9886	731	88972
<b>Total Jul-14</b>	93	1625	4876	230	1946762	690	17520861
<b>Total Aug-14</b>	35	107	322	475	135181	1425	1216628
<b>Total Sep-14</b>	58	260	780	458	39211	1374	352895
<b>Total Oct-14</b>	45	515	1546	463	2767	1388	24902
<b>Total Nov-14</b>	39	714	2141	530	33545	1591	301901
<b>Total Dec-14</b>	52	921	2764	644	76755	1933	690796

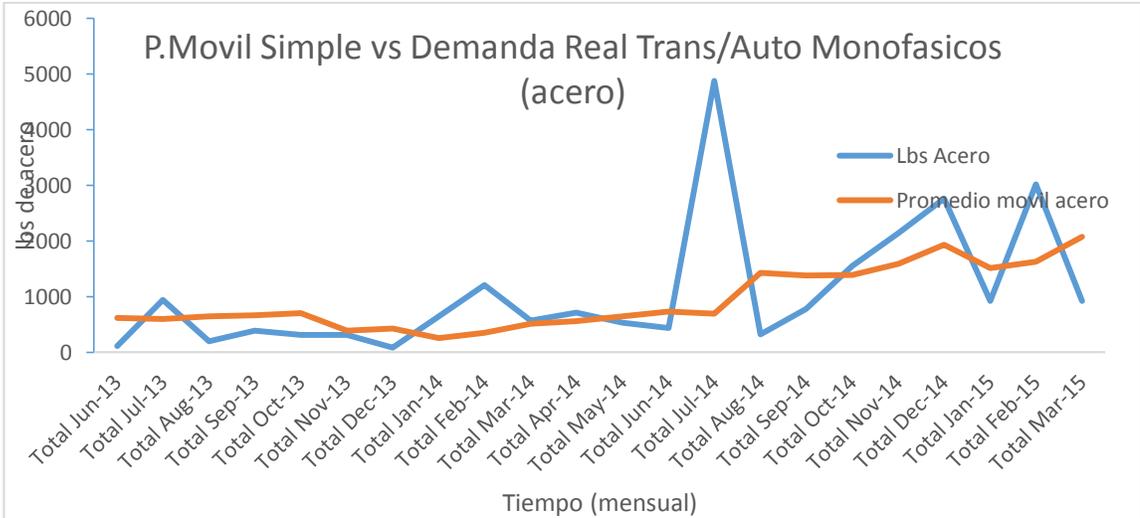
<b>Total Jan-15</b>	25	306	917	504	39175	1511	352574
<b>Total Feb-15</b>	51	1006	3018	543	214061	1630	1926551
<b>Total Mar-15</b>	44	306	918	692	149363	2077	1344265
<b>Apr-15</b>				<b>508</b>	<b>257788</b>	<b>1523</b>	<b>2320093</b>
				Total Nivel de Error	3110527	Total Nivel de Error	27994743
				Error cuadratico Pro.	135240	Error cuadratico Pro.	1217163

**Anexos 6 y 7: Gráficos de la demanda versus el pronóstico de P. Móvil Simple , Transformadores y Auto transformadores monofásicos**

**Anexo 6: Demanda versus promedio móvil simple (cobre) en transformadores y autotransformadores monofásicos**



**Anexo 7: Demanda versus promedio móvil simple (acero) en transformadores y autotransformadores monofásicos**



**Anexo 8: Promedio Móvil Ponderado (cobre) trans./ Auto monofásicos**

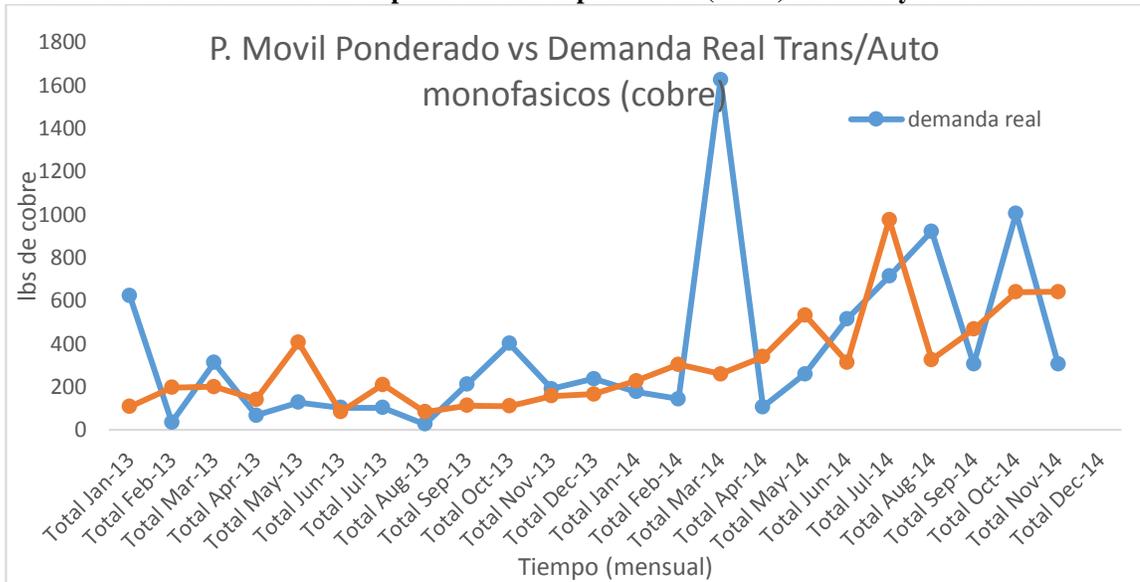
MES	# unid	Lbs cobre	5meses	Error c
		a	a	50%
		b	b	10%
			c	25%
			d	10%
<b>Total Jan-13</b>	5	77	e	5%
<b>Total Feb-13</b>	29	222		100%
<b>Total Mar-13</b>	8	38		
<b>Total Apr-13</b>	13	71		
<b>Total May-13</b>	41	622		
<b>Total Jun-13</b>	16	35	109	5346
<b>Total Jul-13</b>	36	313	197	13437
<b>Total Aug-13</b>	13	67	201	17893
<b>Total Sep-13</b>	14	128	141	171
<b>Total Oct-13</b>	16	104	406	91361
<b>Total Nov-13</b>	10	104	84	397
<b>Total Dec-13</b>	4	27	211	33506
<b>Total Jan-14</b>	33	213	84	16718
<b>Total Feb-14</b>	90	401	114	82449
<b>Total Mar-14</b>	44	191	110	6488
<b>Total Apr-14</b>	39	237	158	6323
<b>Total May-14</b>	20	177	166	108
<b>Total Jun-14</b>	54	144	227	6838
<b>Total Jul-14</b>	93	1625	304	1746597
<b>Total Aug-14</b>	35	107	259	23069
<b>Total Sep-14</b>	58	260	340	6414
<b>Total Oct-14</b>	45	515	533	306
<b>Total Nov-14</b>	39	714	313	160253
<b>Total Dec-14</b>	52	921	976	2942
<b>Total Jan-15</b>	25	306	326	411
<b>Total Feb-15</b>	51	1006	467	289942
<b>Total Mar-15</b>	44	306	640	111783
<b>Apr-15</b>			641.2074347	411146.974
			Total N. error	3033900.59
			Error C. Pro.	131908.721

**Anexo 9: Promedio Móvil Ponderado (acero) trans./ Auto monofásicos**

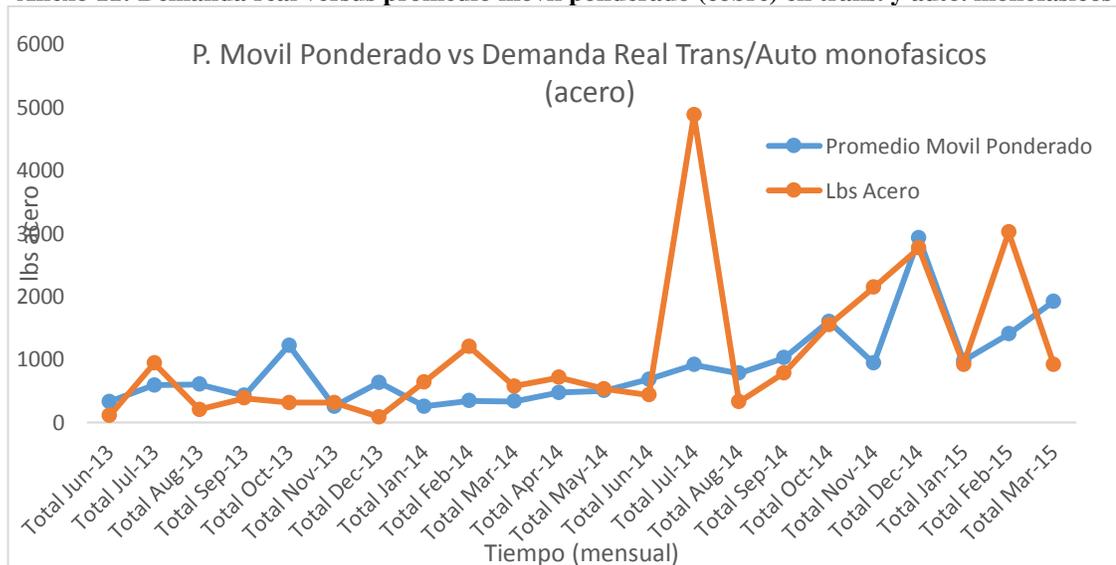
MES	# unid	Lbs Acero	5meses	Error c
			a	50%
			b	10%
			c	25%
			d	10%
<b>Total Jan-13</b>	5	232	e	5%
<b>Total Feb-13</b>	29	667	total	100%
<b>Total Mar-13</b>	8	114		
<b>Total Apr-13</b>	13	212		
<b>Total May-13</b>	41	1867		
<b>Total Jun-13</b>	16	106	326	48112
<b>Total Jul-13</b>	36	938	590	120933
<b>Total Aug-13</b>	13	201	603	161034
<b>Total Sep-13</b>	14	384	423	1543
<b>Total Oct-13</b>	16	311	1218	822248
<b>Total Nov-13</b>	10	311	251	3577
<b>Total Dec-13</b>	4	82	632	301556
<b>Total Jan-14</b>	33	640	252	150463
<b>Total Feb-14</b>	90	1202	341	742045
<b>Total Mar-14</b>	44	573	331	58394
<b>Total Apr-14</b>	39	711	473	56910
<b>Total May-14</b>	20	530	499	974
<b>Total Jun-14</b>	54	433	681	61543
<b>Total Jul-14</b>	93	4876	911	15719371
<b>Total Aug-14</b>	35	322	777	207620
<b>Total Sep-14</b>	58	780	1021	57726
<b>Total Oct-14</b>	45	1546	1598	2752
<b>Total Nov-14</b>	39	2141	940	1442274
<b>Total Dec-14</b>	52	2764	2927	26480
<b>Total Jan-15</b>	25	917	978	3703
<b>Total Feb-15</b>	51	3018	1402	2609478
<b>Total Mar-15</b>	44	918	1921	1006048
<b>Jun-15</b>			1924	3700323
			Total N. error	27305105
			Error C. Pro.	1187178

**Anexo 10 y 11: Gráficos del pronóstico (Promedio móvil Ponderado) vs Demanda real en los transformadores y autotransformadores monofásicos**

**Anexo 10: Demanda real versus promedio móvil ponderado (cobre) en trans. y auto. monofásicos**



**Anexo 11: Demanda real versus promedio móvil ponderado (cobre) en trans. y auto. monofásicos**



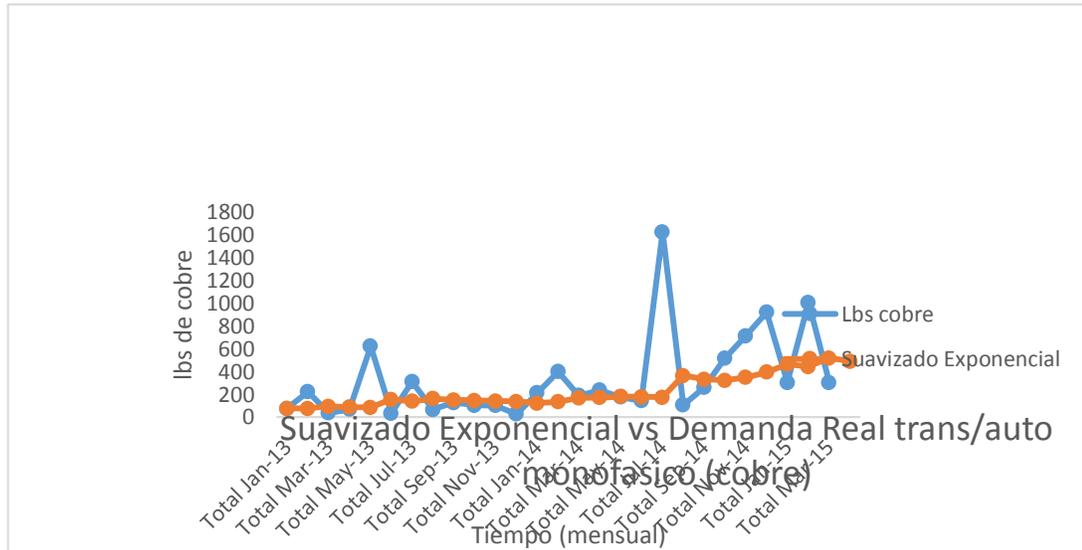
## Anexo 12: Ajuste exponencial para transformadores y autotransformadores monofásicos

MES	# unid	Lbs cobre	Lbs Acero	F. Cobre	Square Err.	F. Acero	Square Erro
Total Jan-13	5	77	232	77	0	232	0
Total Feb-13	29	222	667	77	21052.3146	232	189470.832
Total Mar-13	8	38	114	96	3400.03805	289	30600.3424
Total Apr-13	13	71	212	89	328.716488	266	2958.4484
Total May-13	41	622	1867	86	287417.695	259	2586759.26
Total Jun-13	16	35	106	157	14728.8196	471	132559.377
Total Jul-13	36	313	938	141	29484.7233	423	265362.509
Total Aug-13	13	67	201	163	9281.25971	490	83531.3376
Total Sep-13	14	128	384	151	522.762259	452	4704.86036
Total Oct-13	16	104	311	148	1937.4843	443	17437.3588
Total Nov-13	10	104	311	142	1466.93579	426	13202.4221
Total Dec-13	4	27	82	137	11980.4038	411	107823.634
Total Jan-14	33	213	640	123	8240.15444	368	74161.39
Total Feb-14	90	401	1202	134	70926.2561	403	638336.305
Total Mar-14	44	191	573	170	463.416687	509	4170.75016
Total Apr-14	39	237	711	172	4189.83538	517	37708.5184
Total May-14	20	177	530	181	17.7845662	543	160.0611
Total Jun-14	54	144	433	180	1292.56341	541	11633.0707
Total Jul-14	93	1625	4876	176	2101550.05	527	18913950.5
Total Aug-14	35	107	322	366	67094.7595	1099	603852.837
Total Sep-14	58	260	780	332	5194.90988	997	46754.1892
Total Oct-14	45	515	1546	323	37103.7609	968	333933.848
Total Nov-14	39	714	2141	348	133644.586	1044	1202801.27

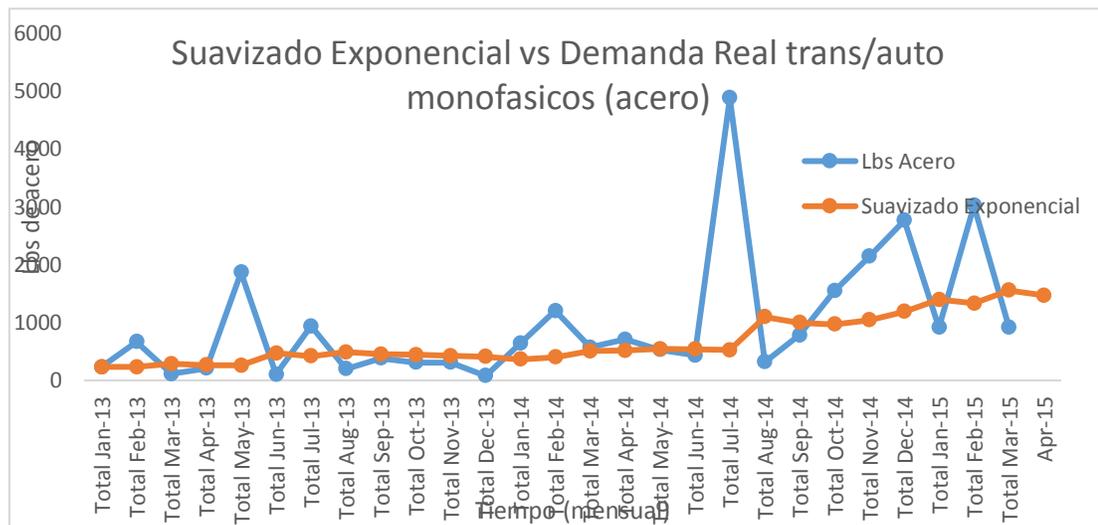
<b>Total Dec-14</b>	52	921	2764	396	275876.457	1188	2482888.11
<b>Total Jan-15</b>	25	306	917	465	25470.1209	1396	229231.089
<b>Total Feb-15</b>	51	1006	3018	444	315466.901	1333	2839202.11
<b>Total Mar-15</b>	44	306	918	518	45025.8094	1554	405232.286
<b>Apr-15</b>				490		1470	2162220.3
				error total	3473158.52		33420647
				Err. Cuad. Pro	248082.752		1193594.54

## Anexo 13 y 14: Gráficos del Suavizado Exponencial vs Demanda real de los transformadores y autotransformadores monofásicos

Anexo 13 Demanda real versus suavizado exponencial (cobre) en trans. y auto monofásicos



Anexo 14: Demanda real versus suavizado exponencial (acero) en trans. y auto monofásicos



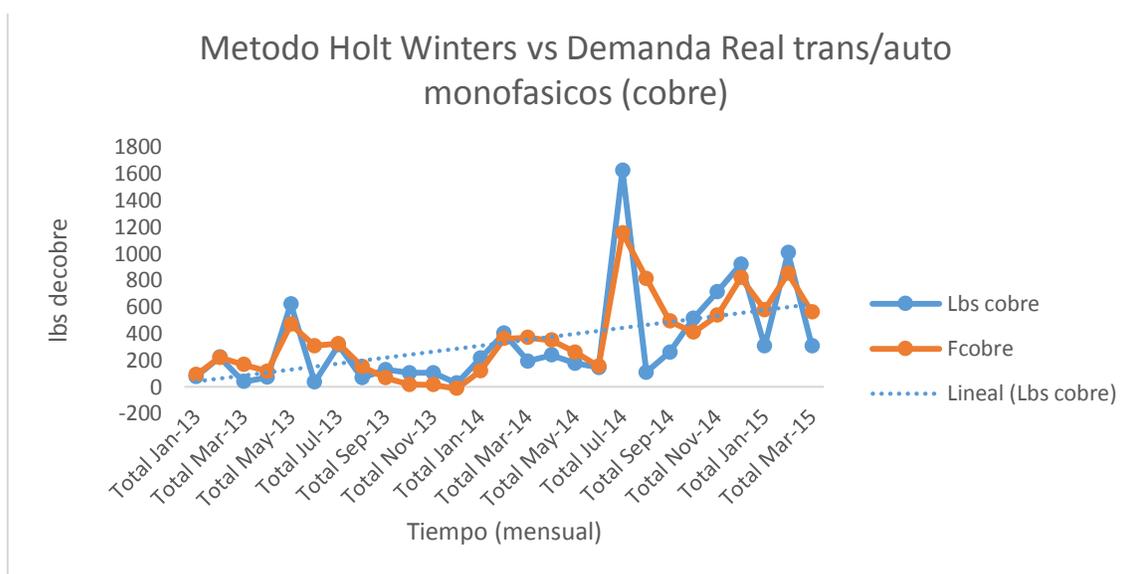
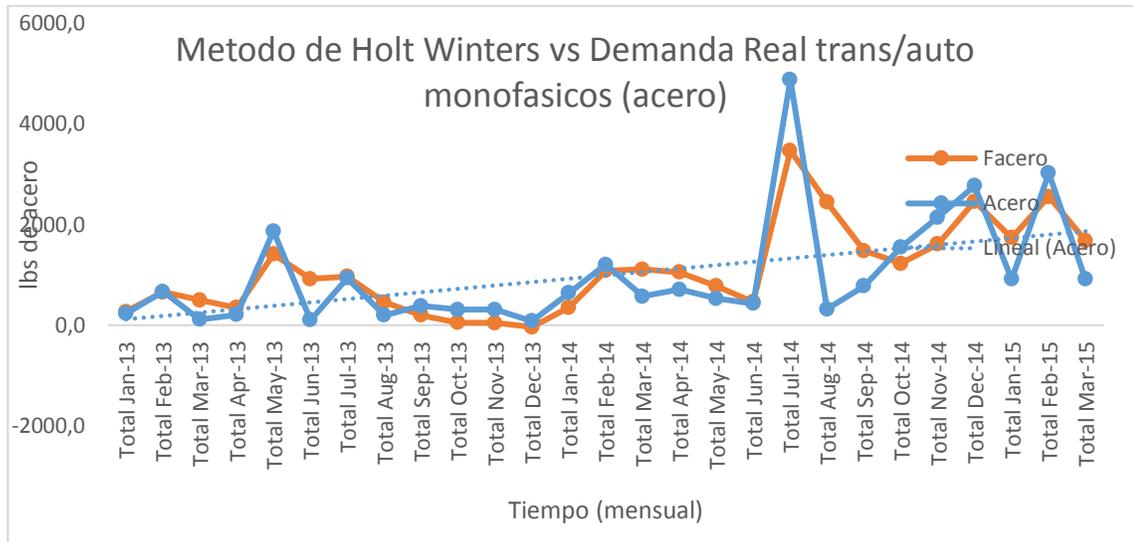
### Anexo 15: Método de Holt Winters para transformadores y autotransformadores monofásicos

Periodos	MES	# unid	Lbs cobre	Fcobre	Sq.Error	Acero	Facero	Sq.Error
0	0	0	0					
1	<b>Total Jan-13</b>	5	77	89	143	232	267.8	1288.5
2	<b>Total Feb-13</b>	29	222	219	9	667	658.0	83.4
3	<b>Total Mar-13</b>	8	38	166	16280	114	497.0	146516.5
4	<b>Total Apr-13</b>	13	71	116	2065	212	348.1	18589.0
5	<b>Total May-13</b>	41	622	469	23531	1867	1407.1	211775.2
6	<b>Total Jun-13</b>	16	35	307	73903	106	922.0	665126.4
7	<b>Total Jul-13</b>	36	313	323	105	938	968.5	942.7
8	<b>Total Aug-13</b>	13	67	152	7223	201	456.3	65006.4
9	<b>Total Sep-13</b>	14	128	66	3802	384	198.8	34220.2
10	<b>Total Oct-13</b>	16	104	17	7512	311	51.3	67609.3
11	<b>Total Nov-13</b>	10	104	15	7818	311	45.8	70361.4
12	<b>Total Dec-13</b>	4	27	-12	1591	82	-37.2	14315.7
13	<b>Total Jan-14</b>	33	213	118	9168	640	352.8	82508.0
14	<b>Total Feb-14</b>	90	401	361	1570	1202	1083.6	14128.3
15	<b>Total Mar-14</b>	44	191	369	31669	573	1107.0	285022.6
16	<b>Total Apr-14</b>	39	237	350	12726	711	1049.7	114533.5
17	<b>Total May-14</b>	20	177	259	6751	530	776.4	60755.3
18	<b>Total Jun-14</b>	54	144	155	105	433	463.9	947.9
19	<b>Total Jul-14</b>	93	1625	1155	221074	4876	3465.2	1989669.7
20	<b>Total Aug-14</b>	35	107	813	497865	322	2438.4	4480786.2
21	<b>Total Sep-14</b>	58	260	492	53656	780	1475.2	482906.0
22	<b>Total Oct-14</b>	45	515	409	11362	1546	1226.2	102255.0

23	<b>Total Nov-14</b>	39	714	536	31615	2141	1607.4	284537.6
24	<b>Total Dec-14</b>	52	921	819	10575	2764	2455.5	95177.3
25	<b>Total Jan-15</b>	25	306	578	74045	917	1733.1	666403.6
26	<b>Total Feb-15</b>	51	1006	850	24188	3018	2551.0	217690.8
27	<b>Total Mar-15</b>	44	306	560	64425	918	1679.1	579822.9
28	<b>Apr-15</b>			304.0737712	92460.858		912.221314	832147.725
				Total Eror	1287236.3		Total Eror	11585127
				E. Cua. Pro	45972.726		E. Cua. Pro	413754.537

## Anexos 16 y 17: Gráficos del método Holt-Winters vs Demanda real en transformadores y autotransformadores monofásicos

Anexo 17: Demanda real versus método de Holt Winters (acero) en trans. y auto monofásicos



Anexo 16: Demanda real versus método de Holt Winters (cobre) en trans. y auto monofásicos

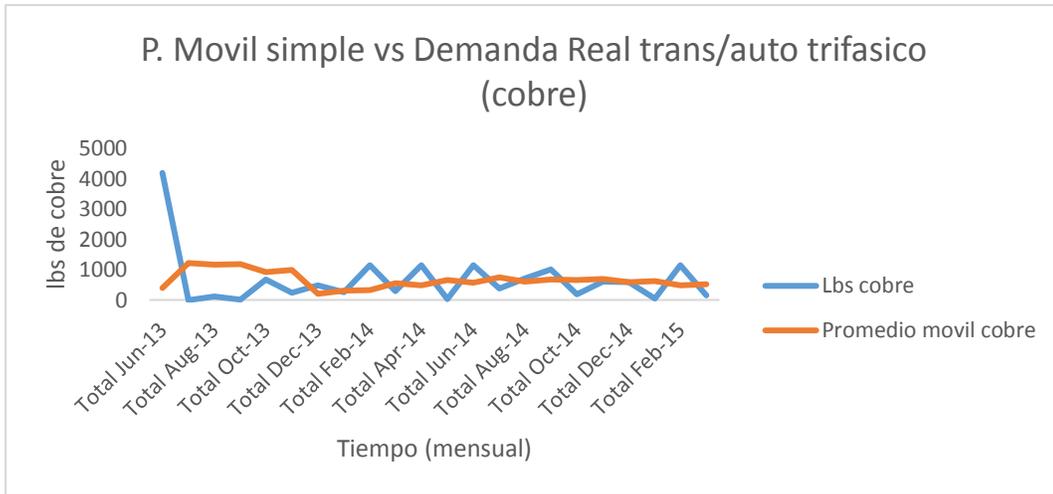
**Anexo 18: Promedio Móvil simple en transformadores y autotransformadores trifásicos**

MES	# unid	Lbs cobre	Lbs Acero	5 meses			
				Promedio movil cobre	Error Cuadratico	Promedio movil acero	Error Cuadratico
<b>Total Jan-13</b>	1	38	69				
<b>Total Feb-13</b>	8	302	543				
<b>Total Mar-13</b>	2	23	42				
<b>Total Apr-13</b>	6	1320	2377				
<b>Total May-13</b>	4	271	488				
<b>Total Jun-13</b>	20	4195	7551	391	14471355	704	46887191
<b>Total Jul-13</b>	0	0	0	1222	1494122	2200	4840957
<b>Total Aug-13</b>	3	113	203	1162	1101281	2092	3568151
<b>Total Sep-13</b>	1	15	27	1180	1356897	2124	4396345
<b>Total Oct-13</b>	4	672	1209	919	60966	1654	197531
<b>Total Nov-13</b>	5	230	414	999	590876	1798	1914438
<b>Total Dec-13</b>	2	487	876	206	78942	371	255773
<b>Total Jan-14</b>	5	250	450	303	2839	546	9199
<b>Total Feb-14</b>	3	1143	2058	331	660200	595	2139048
<b>Total Mar-14</b>	6	293	527	556	69664	1002	225712
<b>Total Apr-14</b>	3	1143	2058	481	439202	865	1423013
<b>Total May-14</b>	5	30	54	663	401143	1194	1299703
<b>Total Jun-14</b>	3	1143	2058	572	326626	1029	1058267
<b>Total Jul-14</b>	2	383	690	750	134748	1351	436585

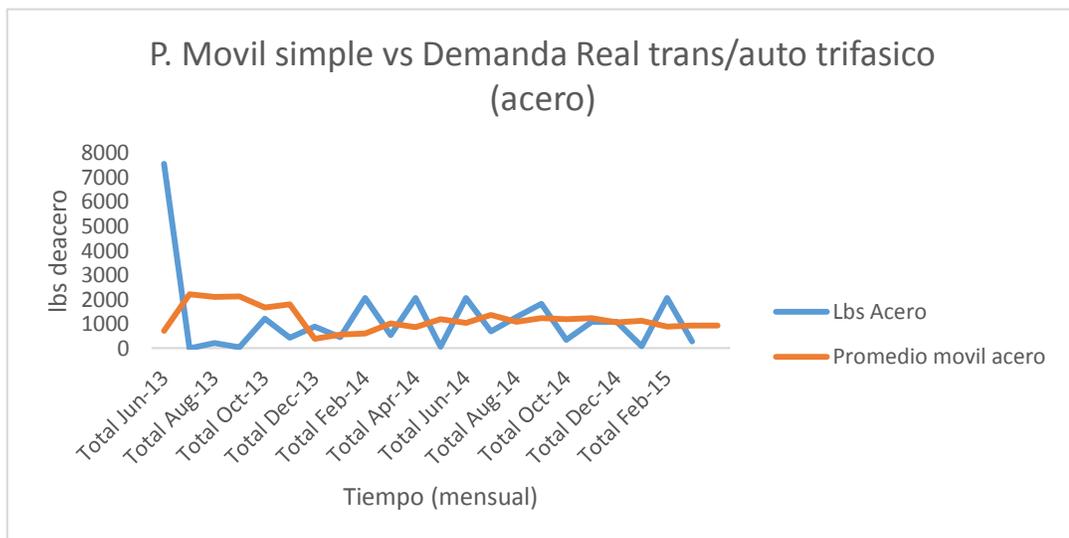
<b>Total Aug-14</b>	10	712	1281	598	12819	1077	41533
<b>Total Sep-14</b>	18	1012	1822	682	108803	1228	352521
<b>Total Oct-14</b>	1	192	345	656	215652	1181	698712
<b>Total Nov-14</b>	7	602	1084	688	7445	1239	24122
<b>Total Dec-14</b>	6	596	1074	580	264	1044	855
<b>Total Jan-15</b>	4	48	87	623	330185	1121	1069800
<b>Total Feb-15</b>	3	1143	2058	490	426632	882	1382287
<b>Total Mar-15</b>	3	150	270	516	134218	929	434867
<b>Abril XXX</b>				508	258086	914	836198
					22682966		73492809
					986216		3195340

**Anexo 19 y 20: Gráficos del Promedio móvil vs Demanda Real en los transformadores y autotransformadores trifásicos**

**Anexo 19: Demanda real versus promedio móvil simple (cobre) para trans. y auto. Trifásicos**



**Anexo 20: Promedio móvil simple versus demanda real (acero) para trans. y auto trifásicos**



**Anexo 21: Promedio móvil ponderado en transformadores y autotransformadores trifásicos**

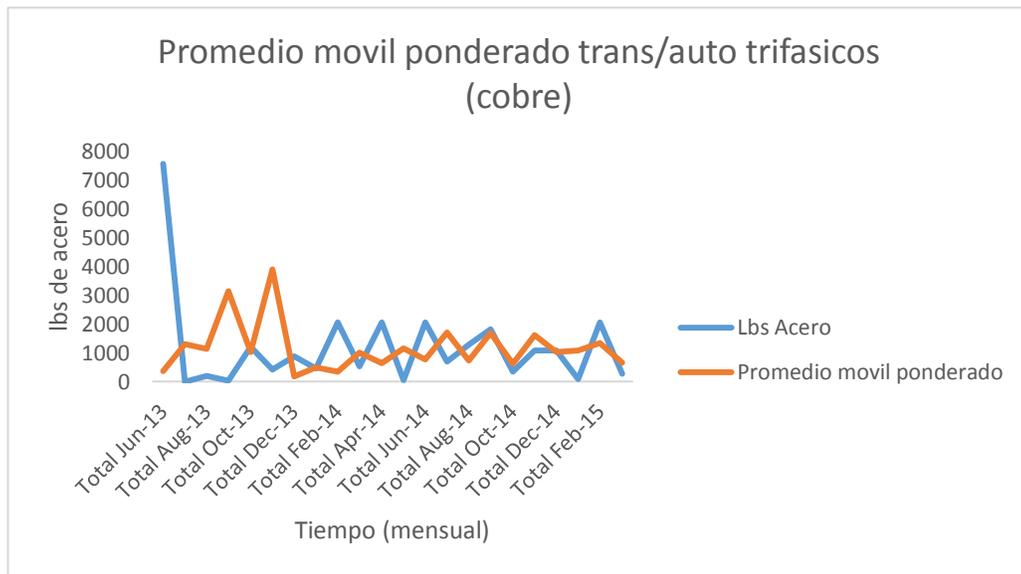
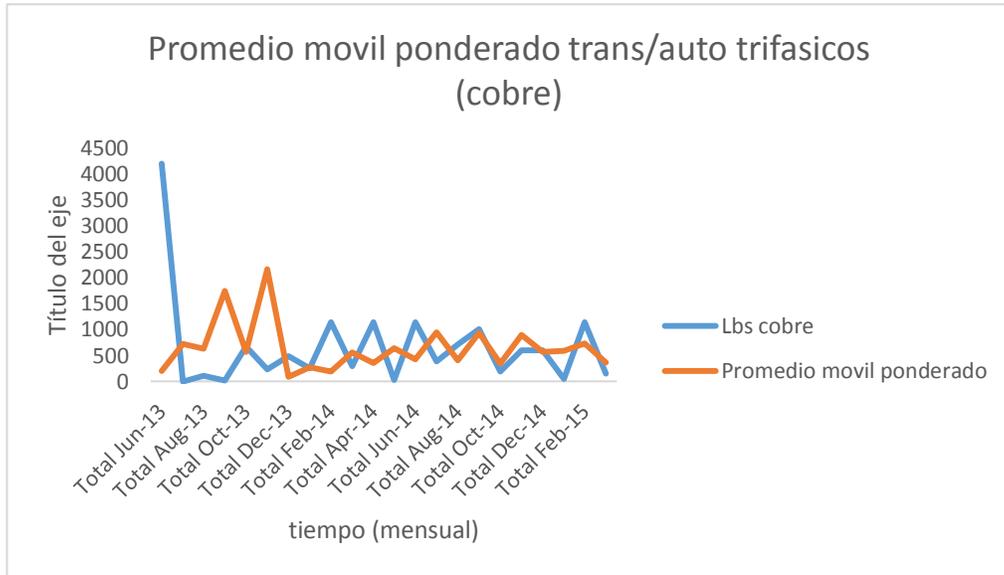
MES	# unid	Lbs cobre	5meses	Error c
		a	a	50%
		b	b	10%
			c	25%
			d	10%
<b>Total Jan-13</b>	1	38	e	5%
<b>Total Feb-13</b>	8	302		100%
<b>Total Mar-13</b>	2	23		
<b>Total Apr-13</b>	6	1320		
<b>Total May-13</b>	4	271		
<b>Total Jun-13</b>	20	4195	201	15954816
<b>Total Jul-13</b>	0	0	720	518668
<b>Total Aug-13</b>	3	113	631	268796
<b>Total Sep-13</b>	1	15	1742	2981553
<b>Total Oct-13</b>	4	672	567	10977
<b>Total Nov-13</b>	5	230	2161	3727114
<b>Total Dec-13</b>	2	487	94	154597
<b>Total Jan-14</b>	5	250	273	533
<b>Total Feb-14</b>	3	1143	193	902312
<b>Total Mar-14</b>	6	293	563	73071
<b>Total Apr-14</b>	3	1143	355	621030
<b>Total May-14</b>	5	30	641	373127
<b>Total Jun-14</b>	3	1143	428	511256
<b>Total Jul-14</b>	2	383	947	317540
<b>Total Aug-14</b>	10	712	402	96189
<b>Total Sep-14</b>	18	1012	934	6048
<b>Total Oct-14</b>	1	192	347	24082
<b>Total Nov-14</b>	7	602	899	87945
<b>Total Dec-14</b>	6	596	565	979
<b>Total Jan-15</b>	4	48	595	298999
<b>Total Feb-15</b>	3	1143	738	164400
<b>Total Mar-15</b>	3	150	367	47156
<b>Apr-15</b>			495	244631
			error total	27385819
			e. c. pro	1190688

**Anexo 22 Promedio móvil ponderado en transformadores y autotransformadores trifásicos (acero)**

MES	# unid	Lbs Acero	5meses	Error c
			a	50%
			b	10%
			c	25%
			d	10%
<b>Total Jan-13</b>	1	69	e	5%
<b>Total Feb-13</b>	8	543	total	100%
<b>Total Mar-13</b>	2	42		
<b>Total Apr-13</b>	6	2377		
<b>Total May-13</b>	4	488		
<b>Total Jun-13</b>	20	7551	361	51693605
<b>Total Jul-13</b>	0	0	1296	1680484
<b>Total Aug-13</b>	3	203	1136	870898
<b>Total Sep-13</b>	1	27	3135	9660231
<b>Total Oct-13</b>	4	1209	1021	35566
<b>Total Nov-13</b>	5	414	3889	12075849
<b>Total Dec-13</b>	2	876	169	500895
<b>Total Jan-14</b>	5	450	492	1728
<b>Total Feb-14</b>	3	2058	348	2923490
<b>Total Mar-14</b>	6	527	1013	236749
<b>Total Apr-14</b>	3	2058	639	2012136
<b>Total May-14</b>	5	54	1153	1208932
<b>Total Jun-14</b>	3	2058	771	1656470
<b>Total Jul-14</b>	2	690	1704	1028829
<b>Total Aug-14</b>	10	1281	723	311652
<b>Total Sep-14</b>	18	1822	1682	19596
<b>Total Oct-14</b>	1	345	624	78024
<b>Total Nov-14</b>	7	1084	1618	284942
<b>Total Dec-14</b>	6	1074	1017	3172
<b>Total Jan-15</b>	4	87	1071	968757
<b>Total Feb-15</b>	3	2058	1328	532657
<b>Total Mar-15</b>	3	270	661	152787
<b>Apr-15</b>			890	792603
			error total	88730054
			e. c. pro	3412694

**Anexos 23 y 24 : Gráficos del Promedio ponderado vs Demanda Real en los transformadores y autotransformadores trifásicos**

Anexo 23: Demanda real versus promedio móvil ponderado (cobre) para trans. y auto trifásicos



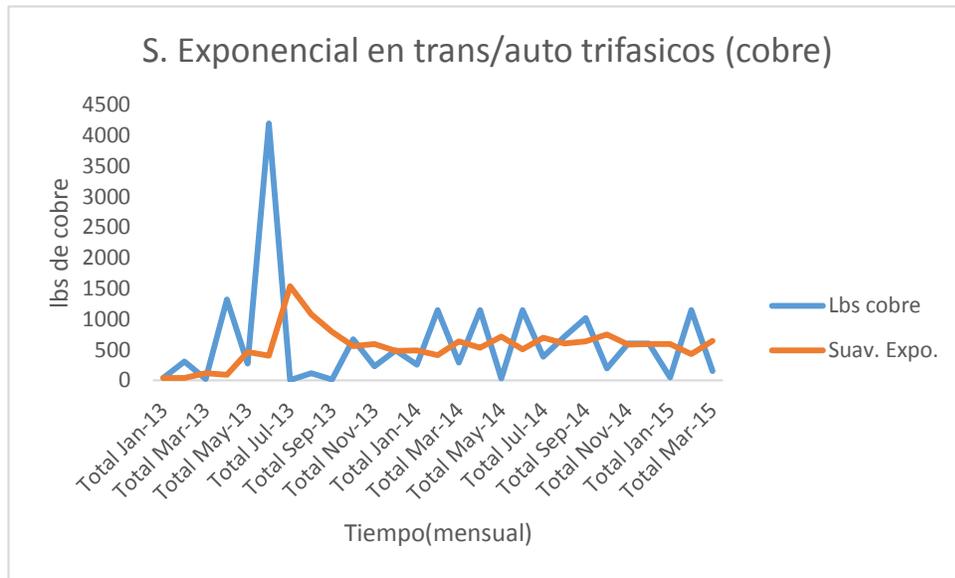
**Anexo 24: Demanda real versus promedio móvil ponderado (acero) para trans. y auto trifásicos**

**Anexo 25: Suavizado Exponencial en los transformadores y autotransformadores trifásicos**

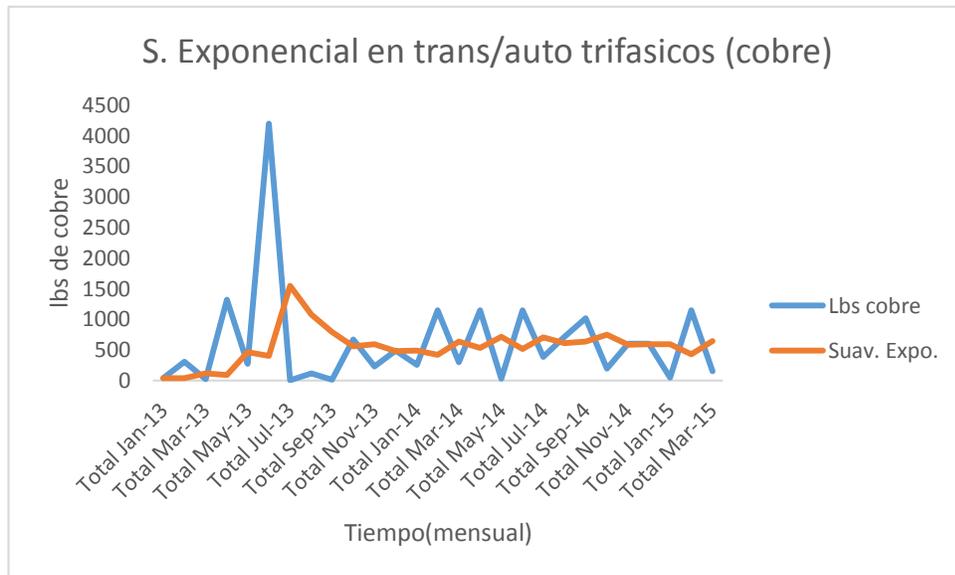
MES	# unid	Lbs cobre	Lbs Acero	F. Cobre	Square Err.	F. Acero	Square Erro
<b>Total Jan-13</b>	1	38	69	38	0	69	0
<b>Total Feb-13</b>	8	302	543	38	69453	69	225028
<b>Total Mar-13</b>	2	23	42	117	8820	211	28577
<b>Total Apr-13</b>	6	1320	2377	89	1515774	160	4911108
<b>Total May-13</b>	4	271	488	459	35127	825	113811
<b>Total Jun-13</b>	20	4195	7551	402	14385512	724	46609060
<b>Total Jul-13</b>	0	0	0	1540	2371978	2772	7685210
<b>Total Aug-13</b>	3	113	203	1078	932235	1941	3020441
<b>Total Sep-13</b>	1	15	27	788	598264	1419	1938377
<b>Total Oct-13</b>	4	672	1209	556	13326	1001	43177
<b>Total Nov-13</b>	5	230	414	591	130187	1064	421806
<b>Total Dec-13</b>	2	487	876	483	17	869	55
<b>Total Jan-14</b>	5	250	450	484	54758	871	177416
<b>Total Feb-14</b>	3	1143	2058	414	532164	745	1724211
<b>Total Mar-14</b>	6	293	527	633	115703	1139	374876
<b>Total Apr-14</b>	3	1143	2058	531	375392	955	1216269
<b>Total May-14</b>	5	30	54	714	468647	1286	1518415
<b>Total Jun-14</b>	3	1143	2058	509	402283	916	1303397
<b>Total Jul-14</b>	2	383	690	699	99826	1259	323436
<b>Total Aug-14</b>	10	712	1281	605	11481	1088	37198
<b>Total Sep-14</b>	18	1012	1822	637	140979	1146	456772
<b>Total Oct-14</b>	1	192	345	749	310958	1349	1007502
<b>Total Nov-14</b>	7	602	1084	582	405	1048	1312
<b>Total Dec-14</b>	6	596	1074	588	70	1059	228
<b>Total Jan-15</b>	4	48	87	591	294171	1063	953114

<b>Total Feb-15</b>	3	1143	2058	428	511840	770	1658363
<b>Total Mar-15</b>	3	150	270	642	242554	1156	785874
<b>Apr-15</b>				495		891	793074
				error total	23621924	error total	77328106
				e. c. pro.	908536	e. c. pro.	2864004

**Anexo 26 y 27: Gráficos del S. Exponencial vs Demanda Real en los transformadores y autotransformadores trifásicos**



**Anexo 26: Demanda real versus suavizado exponencial (cobre) en trans. y auto trifásicos**



**Anexo 27: Demanda real versus suavizado exponencial (acero) en trans. y auto trifásicos**

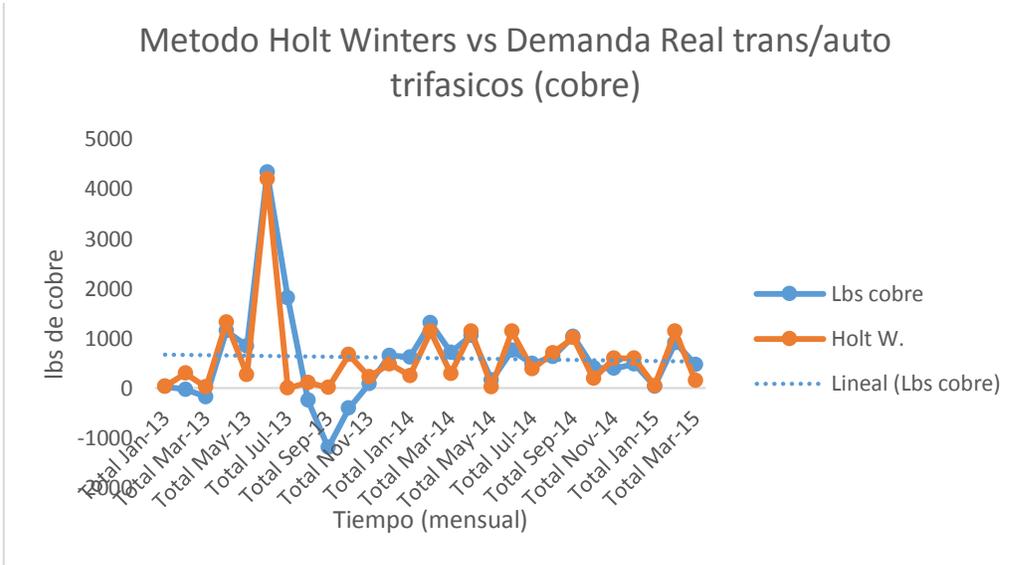
**Anexo 28: Método de Holt Winters en transformadores y autotransformadores trifásicos**

Periodos	MES	# unid	Lbs cobre	Fcobre	Sq.Error	Acero	Facero	Sq.Error
0	0							
1	<b>Total Jan-13</b>	1	38	33	32	69	59	104
2	<b>Total Feb-13</b>	8	302	-27	108341	543	-49	351026
3	<b>Total Mar-13</b>	2	23	-171	37847	42	-308	122625
4	<b>Total Apr-13</b>	6	1320	1151	28616	2377	2072	92717
5	<b>Total May-13</b>	4	271	848	332424	488	1526	1077054
6	<b>Total Jun-13</b>	20	4195	4332	18639	7551	7797	60390
7	<b>Total Jul-13</b>	0	0	1810	3277015	0	3258	10617529
8	<b>Total Aug-13</b>	3	113	-243	126422	203	-437	409608
9	<b>Total Sep-13</b>	1	15	-1189	1450589	27	-2141	4699910
10	<b>Total Oct-13</b>	4	672	-404	1156548	1209	-726	3747216
11	<b>Total Nov-13</b>	5	230	85	20964	414	154	67925
12	<b>Total Dec-13</b>	2	487	659	29623	876	1186	95978
13	<b>Total Jan-14</b>	5	250	623	139013	450	1121	450402
14	<b>Total Feb-14</b>	3	1143	1312	28342	2058	2361	91827
15	<b>Total Mar-14</b>	6	293	721	183678	527	1298	595118
16	<b>Total Apr-14</b>	3	1143	1062	6560	2058	1912	21256
17	<b>Total May-14</b>	5	30	160	16930	54	288	54852
18	<b>Total Jun-14</b>	3	1143	757	149088	2058	1363	483045
19	<b>Total Jul-14</b>	2	383	489	11142	690	880	36100
20	<b>Total Aug-14</b>	10	712	630	6618	1281	1135	21443
21	<b>Total Sep-14</b>	18	1012	1042	902	1822	1876	2922
22	<b>Total Oct-14</b>	1	192	413	48814	345	743	158156
23	<b>Total Nov-14</b>	7	602	398	41742	1084	716	135245

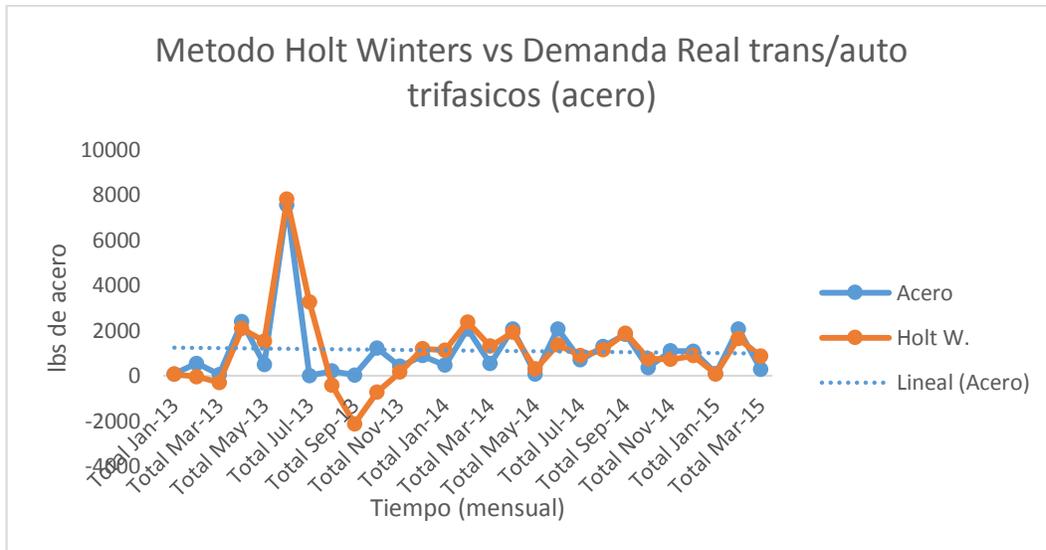
24	<b>Total Dec-14</b>	6	596	487	12000	1074	876	38880
25	<b>Total Jan-15</b>	4	48	38	105	87	68	340
26	<b>Total Feb-15</b>	3	1143	914	52712	2058	1645	170785
27	<b>Total Mar-15</b>	3	150	473	104378	270	852	338185
	<b>42095</b>			91			164	26961
				error.t	7389085		error.t	23967597
				e. c. pr.	273670		e. c. pr.	1089436

**Anexos 29 y 30: Gráficos de la demanda real versus método de Holt Winters en transformadores y autotransformadores trifásicos**

**Anexo 29: Demanda real versus método de Holt Winters (cobre) en trans. y auto. Trifásicos**



**Anexo 30: Demanda real versus método de Holt Winters (acero) en trans. y auto. Trifásicos**



**Anexo 31: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de alambres de cobre tipo A con y sin pronóstico de la demanda**

Tipo de Alambre	SIN PRONOSTICO DE DEMANDA			CON PRONOSTICO DE DEMANDA			Var. Precios
	Con. Historico	Precios	CPT	Con. Historico	Precios	CPT	
Al.esm.rec.3,25x8,2mm	1387	\$ 6.63	\$ 9,215.69	1614.21	\$ 5.96	\$ 9,656.58	-10%
Al. Esm. No. 10	1431	\$ 6.15	\$ 8,828.10	1665	\$ 5.54	\$ 9,250.99	-10%
Al. Esm. Cuadrado.09	1012	\$ 6.39	\$ 6,489.90	1177	\$ 5.76	\$ 6,801.28	-10%
Al. Esm. Cuadrado.08	662	\$ 6.15	\$ 4,088.12	770	\$ 5.54	\$ 4,285.18	-10%
Al. Esm. No. 11	497	\$ 6.15	\$ 3,071.16	578	\$ 5.54	\$ 3,219.64	-10%
Al. Esm. No. 12	401	\$ 2.79	\$ 1,130.16	467	\$ 2.51	\$ 1,188.21	-10%

Al. Esm. No. 13	373	\$ 6.41	\$ 2,400.80	434	\$ 5.76	\$ 2,517.08	-10%
Al. Esm. Cuadrado.07	318	\$ 6.15	\$ 1,969.40	370	\$ 5.54	\$ 2,065.13	-10%
Al.esm.rec.2,25x8,5mm	289	\$ 6.63	\$ 1,925.15	336	\$ 5.96	\$ 2,018.56	-10%
Al. Esm. Cuadrado.06	253	\$ 6.15	\$ 1,566.58	294	\$ 5.54	\$ 1,642.99	-10%
Al. Esm. No. 15	190	\$ 6.20	\$ 1,185.72	221	\$ 5.58	\$ 1,243.81	-10%
Al. Esm. No. 14	181	\$ 7.27	\$ 1,320.77	210	\$ 6.54	\$ 1,385.00	-10%
Al. Esm. No. 16	166	\$ 6.42	\$ 1,075.40	194	\$ 5.77	\$ 1,128.10	-10%
Al. Esm. No. 18	156	\$ 4.73	\$ 744.62	181.57	\$ 4.25	\$ 781.97	-10%
TOTAL PRESUPUESTO			\$ 45,011.56	TOTAL PRESUPUESTO		\$ 47,184.54	Var. Presu. 2%

**Anexo 32: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de láminas de acero fase 1 tipo A con y sin pronóstico de la demanda**

Tipo de lamina	SIN PRONOSTICO DE DEMANDA			CON PRONOSTICO DE DEMANDA			Var. Precios
	Con. Historico	Precios	CPT	Con. Historico	Precios	CPT	
lam. 1f acero ei 25	832.50	\$ 1.16	1045.98	3076.56	\$ 1.07	3438.99	-8%
lam. 1f acero ei 28	898.75	\$ 1.16	1125.97	2849.78	\$ 1.07	3191.12	-8%
lam. 1f acero ei019	636.25	\$ 1.16	808.24	2177.98	\$ 1.07	2455.33	-8%
lam. 1f acero ei32	465.25	\$ 1.16	599.71	1735.54	\$ 1.07	1969.10	-8%
lam. 1f acero ei38	507.00	\$ 1.16	650.77	1592.62	\$ 1.07	1811.66	-8%
lam. 1f acero ei44	258.34	\$ 1.16	344.39	1335.03	\$ 1.07	1527.30	-8%
lam. 1f acero ei50	390.00	\$ 1.16	507.35	967.04	\$ 1.07	1119.31	-8%

<b>lam. 1f acero ei57</b>	282.50	\$ 1.16	374.47	884.32	\$ 1.07	1027.21	-8%
<b>lam. 1f acero ei60</b>	209.75	\$ 1.16	283.61	862.64	\$ 1.07	1003.04	-8%
<b>lam.1f acero 100</b>	166.50	\$ 1.16	229.04	718.01	\$ 1.07	841.46	-8%
<b>lam.1f acero ei 70</b>	252.00	\$ 1.16	336.49	569.96	\$ 1.07	675.26	-8%
<b>lam.1f acero ei 80</b>	152.75	\$ 1.16	211.58	522.89	\$ 1.07	622.21	-8%
<b>TOTAL PRESUESTO</b>			<b>\$ 6,517.61</b>	<b>TOTAL PRESUESTO</b>		<b>19681.98</b>	<b>Var. Presu. 202%</b>

**Anexo 33: Comparativa del presupuesto usando Costo pertinente total entre línea de láminas de acero fase 3 tipo A con y sin pronóstico de la demanda**

Tipo de laminas	SIN PRONOSTICO DE DEMANDA			CON PRONOSTICO DE DEMANDA			Var. Precios
	Con. Historico	Precios	CPT	Con. Historico	Precios	CPT	
<b>lam.3f. Acero ei50</b>	4307.50	\$ 1.26	\$ 5,610.79	2655.40	\$ 1.20	\$ 3,322.46	-5%
<b>lam.3f.Aceroei60</b>	3492.00	\$ 1.26	\$ 4,564.99	2152.67	\$ 1.20	\$ 2,706.36	-5%
<b>lam.3f.aceroie70</b>	3448.75	\$ 1.26	\$ 4,509.47	2126.01	\$ 1.20	\$ 2,673.64	-5%
<b>lam.3faceroi80</b>	1904.00	\$ 1.26	\$ 2,520.93	1173.74	\$ 1.20	\$ 1,500.67	-5%
	TOTAL PRESUPUESTO		\$ 17,206.18	TOTAL PRESUPUESTO		\$ 10,203.12	Var. Presu. -41%

