

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Adaptación de Modelo de Inventario para la Transición del Reemplazo de Proveedores en una Empresa Médica

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de maestro en ingeniería e innovación en sistemas y procesos industriales.

Presenta:

Elizabeth Contreras Morales

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México 17 marzo del
2020

TITULO DE TESIS

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en
Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Elizabeth Contreras Morales

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Director de tesis

Dr. Ricardo Martínez Soto
Coordinador del Posgrado en Ingeniería

Resumen de la tesis que presenta **Elizabeth Contreras Morales** como requisito parcial para la obtención del grado de maestro en ingeniería e innovación en sistemas y procesos industriales.

Adaptación de Modelo de Inventario para la Transición del Reemplazo de Proveedores en una Empresa Médica

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Director de tesis

La adaptación de un modelo de demanda probabilística para la administración de inventario con un factor de corrección por la entrega fuera de tiempo de proyectos de un 7% redujo del 16.65% al 3.5% el porcentaje de error en el inventario para la transición de los reemplazos de cambios de proveedor de una empresa médica.

El error del 16.65% en la práctica inicial de administración de inventarios generaba a la empresa bajo estudio pérdidas financieras superiores a los cuatro millones de dólares anuales.

Palabras clave: inventarios, modelos, proveedor, cambios, error.

Abstract of the thesis presented **by Elizabeth Contreras** as a partial requirement to obtain the Master or Doctor of Science degree in Engineering and Innovation with orientation in

Inventory model adaption for the supplier transition in a medical company

Abstract approved by:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Thesis' Director

A probabilistic demand model adaptation for inventory management with a correction factor for out-of-time projects of 7% reduced from 16.65% to 3.5% the percentage of inventory error for the transition of replacements of changes of suppliers of a medical company.

The 16.65% error in the initial practice of inventory management generated financial losses of more than four million dollars per year for the company under study.

Keywords: inventory, model, supplier, changes, error.

Dedicatoria

A mi hermano por haber luchado como un guerrero y con todas sus fuerzas contra el cáncer, siempre será mi ejemplo de perseverancia y optimismo, es quien me ha fomentado seguir con este posgrado a pesar de los retos presentados durante los dos años. Te amaremos y extrañaremos siempre.

Agradecimientos

Agradezco a CETYS universidad por haberme brindado la oportunidad de cursar un Posgrado así como a sus docentes por estos dos años cuyos conocimientos y tiempo brindados hicieron posible poder concluir satisfactoriamente este trabajo de investigación.

Así mismo agradecer el apoyo del programa CONACYT industria, número de becario 891587 por proporcionar el apoyo económico para poder cursar este posgrado, dicho apoyo me permitió continuar laborando y estudiando para así poder incrementar mis oportunidades laborales y profesionales.

Por último agradecer al Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda por brindar un seguimiento puntual a este proyecto final para la obtención de mi grado de maestra en ingeniería e innovación.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras.....	viii
Introducción.....	1
Capítulo 1. Antecedentes.....	2
1.1 Modelos de Administración de inventarios	3
1.1.1 Cantidad Económica de Pedido (EOQ).....	3
1.1.2 Lote económico de producción (EPQ)	3
1.1.3 Descuento por cantidades.....	4
1.2 Modelos de punto de reorden	5
1.2.1. Demanda probabilística	5
1.2.2. La demanda es variable y el tiempo de entrega es constante:	5
1.2.3 El tiempo de entrega es variable y la demanda es constante:	6
1.2.4 Demanda y tiempos de entrega ambos variables	6
Capítulo 2. Definición del problema de investigación	7
2.2. Pregunta de investigación	11
2.3 Hipótesis	11
2.3 Objetivos de la Investigación.....	12
Capítulo 3. Metodología	13
3.1 Recopilación de datos clave.....	13
3.1.1. Planeación de actividades para calificación del cambio del proveedor	14
3.1.2 Identificación de demanda de la materia prima.....	14
3.1.3 Identificación de duración de tiempo de entrega por proveedor.....	15
3.1.4 Grado de riesgo de desabastecimiento aceptable para la gerencia.....	16

3.2 Tamaño de muestra	17
3.3 Instrucciones para recolección de datos	18
Capítulo 4. Resultados.....	19
Capítulo 5. Discusión de resultados.....	23
Capítulo 6. Conclusiones.....	28
Capítulo 7. Referencias.....	29

Lista de figuras

Página

Figura 1. Cantidad de Cambios de Proveedor abiertos en el año fiscal 2017 al año fiscal 2020.	7
Figura 2. Porcentaje de cambios con fallas en la determinación de inventarios.	8
Figura 3: Diferencias de inventarios planeados y consumo real.	9
Figura 4: Costo de paros de líneas por fallas en la determinación de inventarios.....	10
Figura 5 . Comparativa entre cálculo de inventario con demanda probabilística y el consumo real.....	19
Figura 6. Comparativa entre cálculo de inventario con demanda y tiempos de entrega, ambos variables y el consumo real.	21
Figura 7: Cambios de proveedor completados a tiempo.....	23
Figura 8. Comparativo de duración del proyecto planeada contra días transcurridos reales..	24
Figura 9.- Comparativo de estatus de inventario utilizando ambos modelos de inventario..	27

Lista de tablas

Página

Tabla 1. Comparativo entre porcentajes de error	26
---	----

Introducción

La adaptación de un modelo de inventario para la transición del reemplazo de proveedores en una empresa médica redujo la variación de la determinación de inventario con un intervalo de confianza del 95% de un (8.24%, 12.60%) a un error de (0.2% ,6.85%) durante el periodo del año fiscal 2017 al año fiscal 2020 y además fue identificada la necesidad de aplicar un factor de corrección por la variación de un 7% en la entrega a tiempo de los proyectos.

Los modelos investigados para la gestión de inventarios fueron del tipo probabilístico, probando dos modelos; el modelo de demanda probabilístico y el modelo de demanda y tiempos de entrega; ambos variables. Los modelos fueron comparados contra el inventario real consumido durante el tiempo de transición de los cambios de proveedores siendo el modelo de demanda probabilística el de menor porcentaje de error.

Capítulo 1. Antecedentes

La Administración Medicamentos y Alimentos (FDA por sus siglas en inglés *Food and Drugs Administration*) requiere hacer una evaluación y seguimiento meticuloso de cualquier modificación en el proceso del proveedor, esto implica para la empresa médica determinar el inventario suficiente para el tiempo de calificación y aprobación del cambio solicitado por el proveedor.

Los modelos para la gestión de inventarios se divide en dos de acuerdo con (Meana Coalla, 2017):

- Modelo determinista: Cuando la demanda es constante y conocida en el tiempo.
- Modelo probabilístico: Cuando la demanda no es conocida y por lo tanto es necesario un inventario de seguridad.

El modelo probabilístico es centrado la investigación de antecedentes sobre la gestión de inventarios.

1.1 Modelos de Administración de inventarios

1.1.1 Cantidad Económica de Pedido (EOQ)

Por sus siglas en inglés "*Economic Order Quantity*", de acuerdo con (R.H, 1934) este modelo es basado en los siguientes supuestos:

1. Solo un producto está involucrado.
2. Los requisitos de demanda anual son conocidos.
3. La demanda es distribuida de manera uniforme durante todo el año la tasa de demanda sea razonablemente constante.
4. El tiempo de entrega conocido y constante.
5. Cada pedido es recibido en una sola entrega.
6. No hay descuentos por cantidad.

El modelo EOQ no es viable para el proyecto, las características de los inventarios de la empresa en cuestión no cumplen con los supuestos planteados por Wilson.

1.1.2 Lote económico de producción (EPQ)

Por sus siglas en inglés, como "*Economic Production Quantity*" este modelo formulado por (E.W, 1918) debe cumplir con los siguientes supuestos para poder utilizarse:

1. Solo un artículo está involucrado.
2. La demanda anual es conocida.
3. La tasa de uso es constante.
4. El uso ocurre continuamente, pero la producción ocurre periódicamente.
5. La tasa de producción es constante.
6. El tiempo de entrega no varía.
7. No hay descuentos por cantidad.

El modelo EPQ tiene en cuenta los diferentes costos financieros y de operación y determina el monto de pedido minimizando los costos de inventario de la empresa, debido al enfoque de reducción de costos de este modelo resulta no viable para una administración de inventarios para tiempo

de transición de proveedores a pesar de los altos costos generados por comprar y almacenar materia prima la empresa debe de absorberlos.

1.1.3 Descuento por cantidades

El modelo propuesto por (G & T, 1963) los proveedores suelen ofrecer uno de los dos tipos de descuentos por cantidad. Estos son descuentos por cantidad de todas las unidades, resultan en un costo de compra reducido para todo el pedido si la cantidad solicitada está por encima de una cantidad particular llamada punto de ruptura; y descuentos por cantidad incremental donde el costo de compra reducido solo aplica a los artículos comprados por encima del punto de ruptura.

Los descuentos suelen aplicar para algunos de los cambios de proveedores sin embargo no aplica a todos los casos debido a la alta demanda de los demás clientes los proveedores suelen alzar el precio de la materia prima y venden más caro y en mayor volumen por ello este modelo de administración no es viable para el proyecto.

1.2 Modelos de punto de reorden

Los modelos de punto de reorden incluyen la demanda esperada durante el tiempo de entrega y quizás un colchón extra de existencias, sirve para reducir la probabilidad de experimentar un desabastecimiento durante tiempo de espera, este tipo de modelo será adecuado al tiempo de calificación de cambios de proveedor, existen distintos tipos de acuerdo con su forma descritos a continuación:

1.2.1. Demanda probabilística

Los niveles de servicio prescritos son utilizados para establecer el inventario de seguridad cuando el costo de desabastecimientos no puede ser determinado

$$\text{ROP} = \text{Demanda durante el tiempo de entrega} + (Z)\sigma_{dLT}$$

(Hernandez, 2019)

Donde:

ROP = Punto de reorden

Z = número de desviaciones estándar.

σ_{dLT} = Desviaciones estándar de demanda durante el tiempo de entrega.

1.2.2. La demanda es variable y el tiempo de entrega es constante:

$$\text{ROP} = (\text{demanda diaria promedio} \times \text{tiempo de entrega en días}) + (Z)\sigma_{dLT}$$

(Chase & Jacobs, 2006)

Donde:

ROP = Punto de reorden

σ_d = Desviación estándar de demanda por día

$$\sigma_{dLT} = \sigma_d \sqrt{\text{Tiempo de entrega}}$$

1.2.3 El tiempo de entrega es variable y la demanda es constante:

$$\text{ROP} = (\text{demanda diaria} \times \text{tiempo promedio de entrega en días} + Z \times (\text{Demanda diaria}) \times \sigma_{LT})$$

(Sarker, Webster, & Ray, 2015)

Donde:

ROP = Punto de reorden

σ_{LT} = Desviación estándar del tiempo de entrega en días.

1.2.4 Demanda y tiempos de entrega ambos variables

$$\text{ROP} = (\text{demanda promedio diaria} \times \text{tiempo promedio de entrega en días} + Z \sigma_{LT})$$

(Chase & Jacobs, 2006)

Donde:

ROP = Punto de reorden

σ_d = Desviación estándar de demanda por día

σ_{LT} = Desviación estándar del tiempo de entrega en días.

σ_{dLT} =

$$\sqrt{(\text{Tiempo promedio de entrega} * \sigma_d^2) + (\text{promedio de demanda por día})^2 * \sigma_{LT}^2}$$

El modelo seleccionado como viable a seguir es el Punto de Reorden este cumple con las características de inventarios analizados en el capítulo 4. Metodología de este trabajo de investigación las características principales de la empresa médica bajo estudio:

- Tasa de demanda generalmente basada en un pronóstico.
- El tiempo de entrega es variable o constante dependiendo de cada caso.
- Existe un cierto grado de riesgo de desabasto aceptable por gerencia.

Capítulo 2. Definición del problema de investigación

La determinación y administración apropiada del nivel de inventario requerido para el tiempo de reemplazo de cambios de proveedor debe ser altamente precisa, dicha actividad es responsabilidad del área de ingeniería de abastecimiento.

En la Figura 1. Cantidad de Cambios de Proveedor abiertos en el año fiscal 2017 al año fiscal 2020. Fuente: ilustra en dos categorías los cambios de proveedor:

- Cambio regular: El proveedor puede seguir produciendo material sin cambio por tiempo indefinido, no es necesario crear un inventario estratégico para el tiempo de calificación de este.
- Administración de inventario: Tipo de cambio de proveedor donde es requerido comprar inventario por anticipado para cubrir el tiempo de reemplazo / aprobación del cambio solicitado.

Los cambios de proveedor bajo enfoque de este trabajo de investigación son los cambios con administración de inventarios debido a las pérdidas económicas generadas al realizar una administración inapropiada de inventarios, descritas a mayor detalle en la sección 2.1 Justificación.

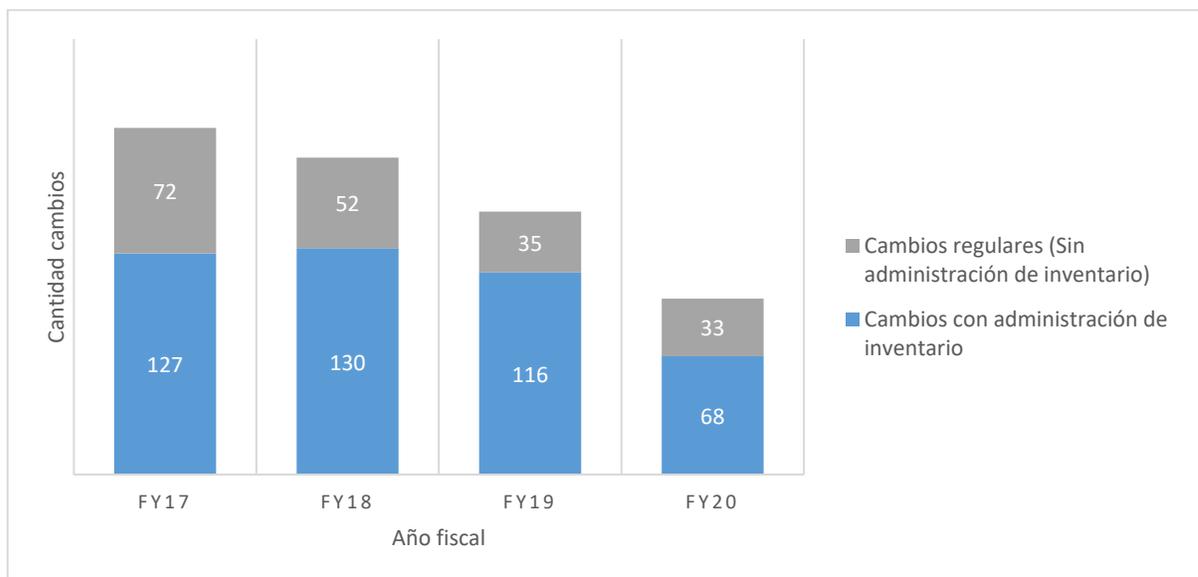


Figura 1. Cantidad de Cambios de Proveedor abiertos en el año fiscal 2017 al año fiscal 2020. Fuente: (González, 2019)

2.1 Justificación

Los últimos cuatro años ha incrementado el porcentaje de fallas en la administración de inventario requerido para la calificación de cambios de proveedor de un 8.7% a un 11.8% este aumento en las fallas de cálculo de inventario es ilustrado en la Figura 2. Porcentaje de cambios con fallas en la determinación de inventarios. Fuente:

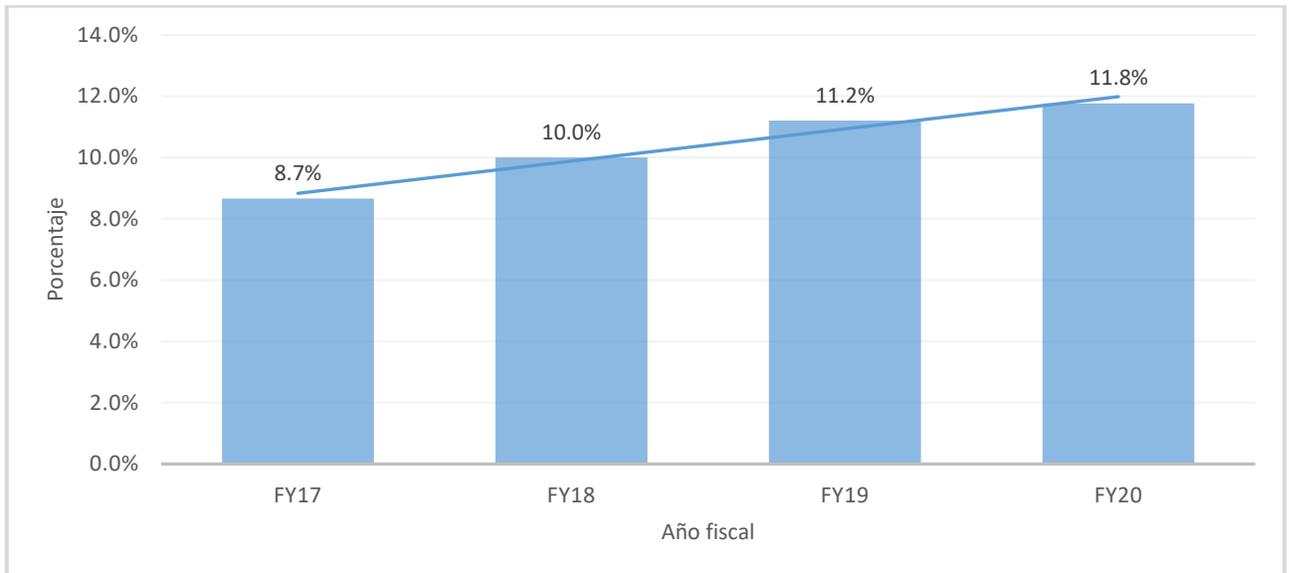


Figura 2. Porcentaje de cambios con fallas en la determinación de inventarios. Fuente: (Pérez, 2019)

El cálculo para la determinación del inventario requerido para el tiempo de calificación del cambio del proveedor es realizado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} &\text{Inventario requerido para calificar el cambio} \\ &= (\text{uso promedio de las últimas 52 semanas} * \text{Tiempo de calificación}) \\ &* \text{Incertidumbre (10\%)} \end{aligned}$$

(Abastecimiento, 2019)

La discrepancia del inventario comprado para el tiempo de calificación del cambio del proveedor comparado contra el inventario real consumido es en promedio 16.65%, este promedio fue obtenido analizando la información del año fiscal 2017 al 2020 donde no es observado ningún comportamiento estacional en el consumo del inventario, estos datos son ilustrados en la Figura 3: Diferencias de inventarios planeados y consumo real. Fuente: .

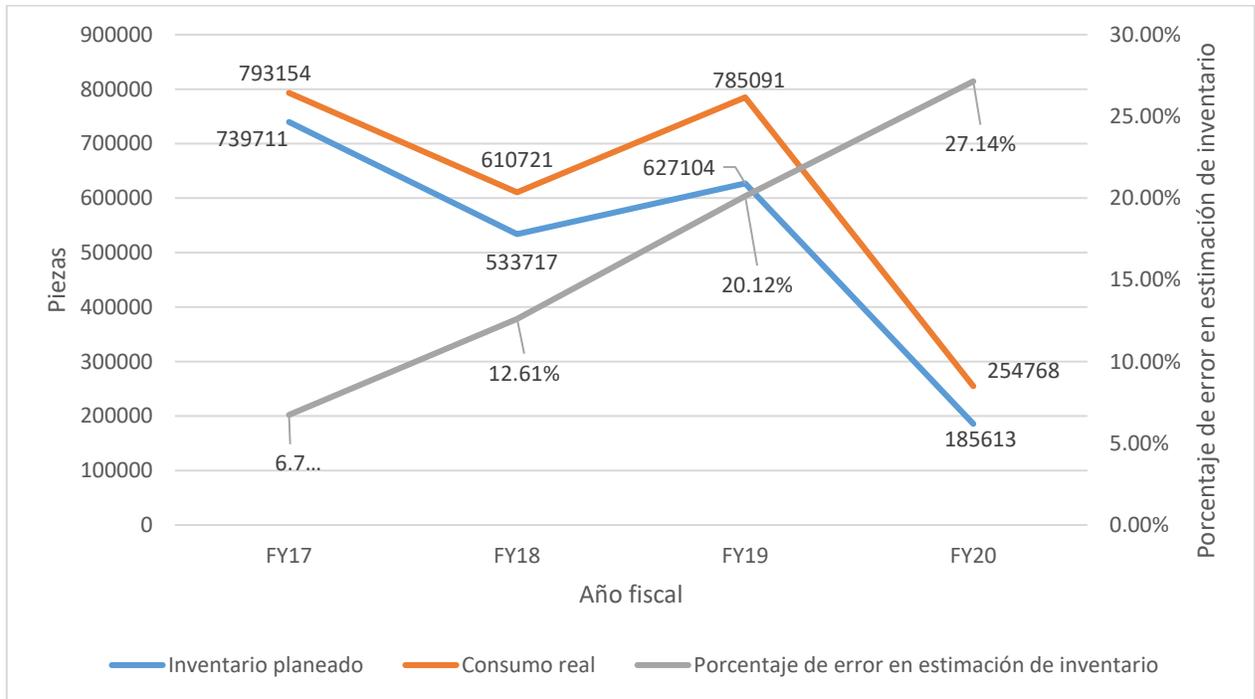


Figura 3: Diferencias de inventarios planeados y consumo real. Fuente: (Solis, 2019)

La figura 4: Costo de paros de líneas por fallas en la determinación de inventarios muestra el impacto financiero producido por un mal manejo de inventario, el monto es en promedio de cuatro millones de dólares anuales.

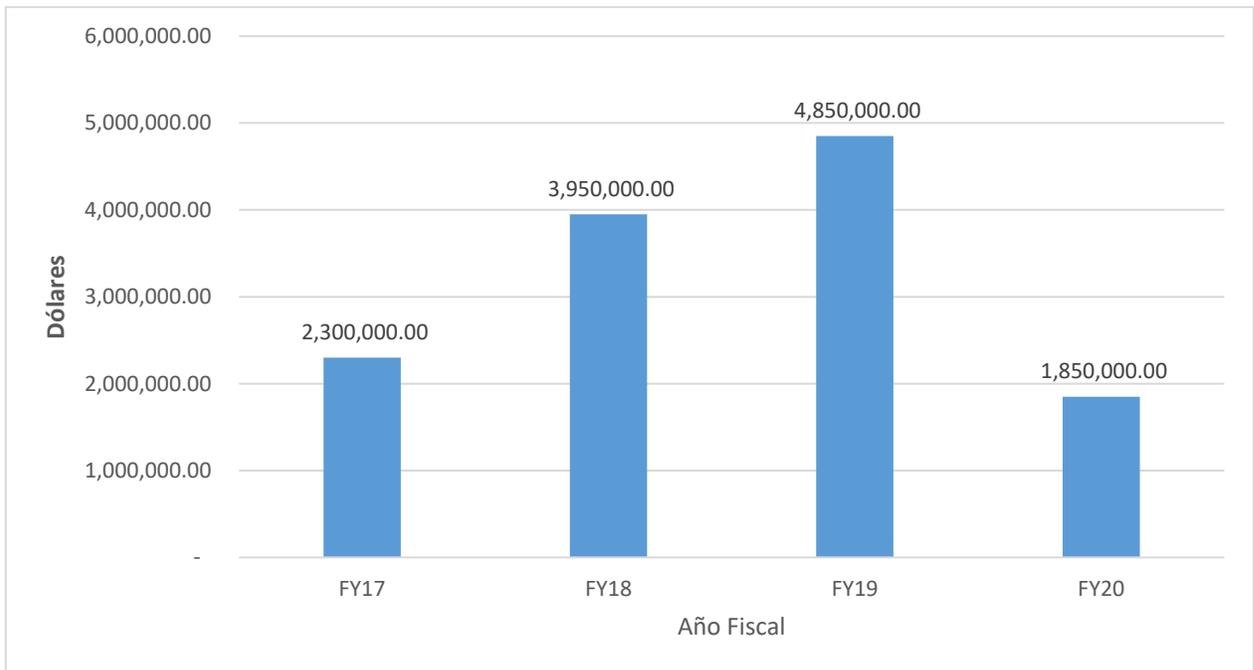


Figura 4: Costo de paros de líneas por fallas en la determinación de inventarios. Fuente: (Pérez, 2019).

La figura anterior ilustra un problema serio para la empresa bajo estudio, por tal motivo este proyecto de investigación es desarrollado.

2.2. Pregunta de investigación

La administración del inventario creado para el tiempo de reemplazo de proveedores es importante para mantener la continuidad de servicio y producción. Por ello es necesario administrar correctamente el nivel de inventario requerido, planteando la siguiente pregunta de investigación:

- ¿Cómo reducir el error del inventario calculado para el reemplazo de un componente de manufactura médica?

2.3 Hipótesis

Las hipótesis propuestas para esta investigación fueron basadas en los dos modelos de administración de inventarios identificados como los más útiles para los datos existentes en la empresa médica bajo estudio.

El primer par de hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_a) respectivamente son:

H_0 : La administración del inventario con un modelo de demanda probabilística no reduce el error a menos de 16.65%.

H_a : La administración del inventario con un modelo de demanda probabilística reduce el error a menos del 16.65%.

El segundo par de hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_a) respectivamente son:

H_0 : La administración del inventario con un modelo de demanda y tiempos de entrega, variables no reduce el error a menos del 16.65%.

H_a : La administración del inventario con un modelo de demanda y tiempos de entrega, ambos variables, reduce el error a menos del 16.65%.

2.3 Objetivos de la Investigación

2.3.1 Objetivo general

Reducir el porcentaje de error de estimación, del inventario planeado contra el real consumido de un 16.65% a un 5% para el año fiscal 2020.

2.3.2 Objetivo específico

Los objetivos específicos son establecidos de la siguiente manera:

1. Reducir el porcentaje de error en la administración de inventarios mediante la experimentación de los modelos de administración de inventarios investigados.
- 2.- Establecer los pasos a seguir para determinar correctamente la gestión de inventarios para el tiempo de reemplazo de cambios de proveedor.
- 3.- Comparar el modelo de administración de inventario con el menor porcentaje de error para fijarlo como modelo a seguir.

Capítulo 3. Metodología

Los modelos de administración de inventario seleccionados requerían información clave para poder comenzar a probarlos, tales como:

- Tasa de demanda (generalmente basada en un pronóstico).
- Duración de tiempo de entrega.
- La extensión de la demanda y / o la variabilidad del tiempo de entrega.
- Grado de riesgo de desabastecimiento aceptable para la gerencia.

Fue necesario realizar la recopilación de cada uno de estos elementos para los cambios de proveedor iniciados en el periodo de septiembre a diciembre del año fiscal 2020.

La persona encargada de realizar el análisis y solicitud de la información es el ingeniero de abastecimiento a cargo del proyecto para así poder hacer la determinación del inventario correcta, utilizando alguno de los modelos propuestos en la hipótesis de esta investigación.

3.1 Recopilación de datos clave

La recopilación de los datos clave fue una tarea en conjunto entre varias áreas de la organización tales como: planeación, compras, ingeniería de manufactura, especialistas en el sistema SAP (en español traducido como sistemas, aplicaciones y productos) e ingeniería de abastecimiento para poder extraer la información correcta.

Los datos descritos en los siguientes puntos son comunes entre ambos modelos de administración de inventario bajo estudio, la única diferencia presentada es la unidad de medida del tiempo, para el modelo de demanda probabilístico es necesario presentar la información del tiempo en semanas, en el de demanda y tiempo de entrega, ambas variables la información es analizada por días.

3.1.1. Planeación de actividades para calificación del cambio del proveedor

La solicitud de cambio del proveedor es recibida por medio de un portal electrónico de la empresa, este portal proporciona un número de seguimiento al cambio denominado SCC traducido como control de cambio del proveedor por sus siglas en inglés (Supplier Change Control).

El seguimiento de este cambio de proveedor es asignado a un ingeniero de abastecimiento cuyo primer paso a seguir es generar una línea de tiempo con el desglose de todas las actividades necesarias para poder aprobar dicho cambio solicitado por el proveedor.

Las líneas de tiempo base para los cambios de proveedor más comunes pueden encontrarse en el portal del área de ingeniería de abastecimiento, en dichos formatos están acordados tiempos estándares para la duración de la ejecución de las diversas actividades necesarias para calificar cambios de proveedor.

3.1.2 Identificación de demanda de la materia prima

La información referente a la demanda es manejada únicamente por parte del área de planeación global de la empresa, fue indispensable fijar un canal para poder hacer el intercambio de esta información al ingeniero de abastecimiento a cargo del cambio del proveedor.

El ingeniero a cargo del proyecto requirió solicitar este dato al personal de planeación global de dicha empresa a través del portal de la cadena de suministro indicando la siguiente información:

- Componente afectado (número de parte).
- Familia de productos impactada
- Período deseado

La solicitud formal de esta información fue por medio de la plataforma de ayuda de la empresa, adjuntando la información previamente mencionada en un archivo de Excel y agregando como evidencia la línea de tiempo de calificación del SCC como archivo PDF.

El desarrollar una categoría para planeación en el portal de ayuda de la empresa fue la mejor vía de comunicación para poder establecer claramente: prioridad, visibilidad de seguimiento y mantener un registro de la información proporcionada por el personal de la cadena de suministro global.

Los datos fueron recopilados por cada una de la familia de productos impactados por un cambio de proveedor para el período de tiempo solicitado por el ingeniero de abastecimiento.

3.1.3 Identificación de duración de tiempo de entrega por proveedor

En este paso fue necesario el apoyo del área de compras y el personal experto en SAP para poder identificar el tiempo de entrega de los proveedores basados en las entradas de materia prima de cada una de las ordenes de compras colocadas en los últimos dos años.

La información fue basada en el histórico de compras de cada proveedor recopilando la siguiente información: Tiempo de entrega de materia prima más larga, más corta y el tiempo de entrega de materia prima promedio.

La información fue capturada en un archivo maestro para el área de ingeniería de abastecimiento localizado en el sitio web interdepartamental del área para consulta de todos.

3.1.4 Grado de riesgo de desabastecimiento aceptable para la gerencia

La gerencia del área de abastecimiento y compras determinaron 5% como un porcentaje aceptable en el error de la administración del inventario.

3.2 Tamaño de muestra

Definiendo el evento x de la variable aleatoria X en una distribución variable binomial con $X = (e \leq 0.05)$ donde el error es calculado mediante

$$e = \frac{\text{Inventario planeado} - \text{Inventario requerido}}{\text{Inventario requerido}}$$

El tamaño de muestra fue calculado tomando en cuenta un intervalo de confianza de 95% y una confiabilidad de 90% definida por el procedimiento de calificación de componentes (Bobish, 2019). Tomando los porcentajes 95% de confianza y 90% de confiabilidad fue realizado un cálculo de tamaño de muestra siguiendo la distribución binomial con base en la aproximación de Poisson en la siguiente ecuación

$$R_L = 1 + \left(\frac{1}{n}\right) \ln \alpha$$

(U.S Army, 2013)

Donde:

R_L = confiabilidad estadística

α = significancia estadística

n = tamaño de muestra

Despejando para n , con $R_L = 0.90$ y $\alpha = 0.05$ (dado $(1 - \alpha) = 0.95$) es posible calcular un mínimo de 29 muestras son necesarias durante la prueba de hipótesis para obtener una confianza y confiabilidad estadística de 95% y 90% respectivamente.

3.3 Instrucciones para recolección de datos

Los datos clave para desarrollar los modelos de administración de inventarios planteados fueron obtenidos de la siguiente manera:

1. Desarrollar la línea de tiempo de calificación del cambio solicitado por el proveedor, utilizando las plantillas de apoyo prellenadas de Microsoft Project.
2. Ingresar al programa de planificación de recursos de la empresa (SAP ERP) y realizar una búsqueda del número de parte afectado por el cambio del proveedor en la transacción CS15.
3. Obtener el registro de donde es utilizado ese componente exportado en un archivo Excel.
4. Identificar las familias de productos donde es utilizado.
5. Solicitar a planeación global la demanda para el producto afectado durante el periodo de tiempo estimado para completar su validación.
6. Identificar el tiempo de entrega del proveedor afectado en el archivo maestro descrito en la sección 4.1.2.
7. Popular la información por cada cambio de proveedor en el archivo de Excel maestro para cambio de proveedor.
8. Llenar la información para obtener el cálculo del inventario para la demanda probabilística y la demanda y tiempos de entrega ambos variables.
9. Realizar los cálculos de inventarios de acuerdo con las fórmulas presentadas en la sección 2.1 Modelos de punto de reorden.
10. Monitorear al finalizar el cambio del proveedor el nivel de inventario real consumido durante el tiempo planeado de calificación.
11. Calcular la diferencia entre ambos modelos de administración de inventarios y el consumo real de cada uno de los SCC para poder elegir el modelo con un error de inventario menor al 16.65%.

Capítulo 4. Resultados

La obtención de datos para la investigación en curso fue realizada de acuerdo con la metodología propuesta.

Administración de inventario siguiendo una demanda probabilística: Los 29 cambios de proveedor abiertos a partir del mes de septiembre del 2019 a noviembre del 2019 fueron monitoreados puntualmente, obteniendo como resultado final un porcentaje de error en la administración de inventario del 3.5% esta comparada contra el uso real del componente, mayor detalle es mostrado en la figura 5.

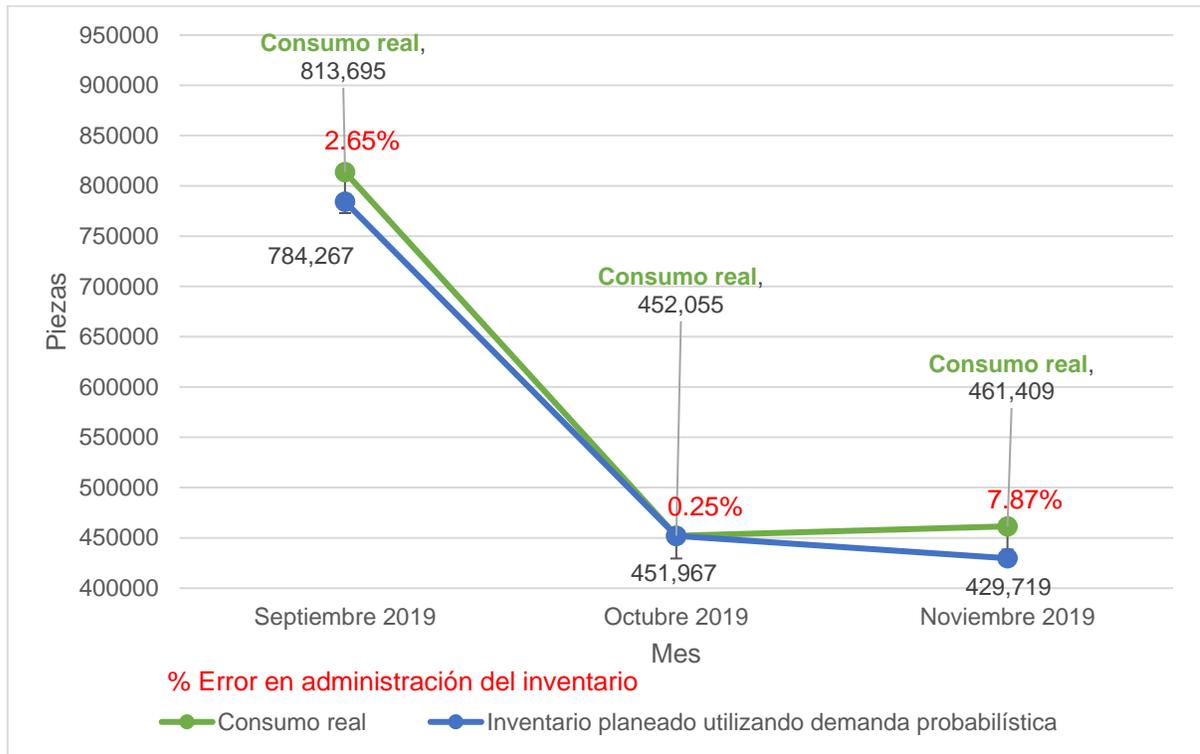


Figura 5 . Comparativa entre cálculo de inventario con demanda probabilística y el consumo real. Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 muestra un comparativo entre el cálculo de inventario de los SCC abiertos de septiembre a noviembre donde era necesaria una administración de inventario, el cálculo de inventario utilizando este modelo de demanda probabilística para la administración de inventario da un resultado muy cercano al inventario real consumido, con un porcentaje de error menor al cinco por ciento aceptado a nivel gerencia.

Los datos mostrados en la figura 5 del modelo de administración de inventario con demanda probabilística fue obtenida siguiendo la fórmula:

$$\text{ROP} = \text{Demanda durante el tiempo de entrega} + (Z)\sigma_{dLT}$$

(Hernandez, 2019)

Donde:

ROP = Punto de reorden

Z = número de desviaciones estándar.

σ_{dLT} = Desviaciones estándar de demanda durante el tiempo de entrega.

La determinación del inventario con demanda probabilística para los SCC bajo estudio es ejemplificada a continuación:

- Proyecto: SCC00001786
- Promedio de demanda para producto afectado = 91,662 catéteres.
- Desviación estándar de demanda durante el tiempo de entrega del proveedor = 3 catéteres.
- Nivel de servicio esperado = 95%
Equivalente a Z = 1.65 (área bajo la curva del 95%).

$$\text{Inventario de seguridad} = Z_{\sigma_{dLT} = 1.65 (3)} = 4.95$$

$$\begin{aligned} \text{Punto de reorden} &= 91,662 + 4.95 \\ &= 91,666 \text{ catéteres} \end{aligned}$$

El resultado de 91,666 catéteres fue comparado contra el consumo real durante los 90 días del proyecto igual a 99,916 catéteres dando como resultado un porcentaje de error del 8%. En este caso el porcentaje de error fue superior debido a la diferencia entre los días planeados para completar el cambio (55 días originalmente) contra los días reales.

- **Administración de inventario siguiendo una demanda y tiempo de entrega ambos variables:** De igual forma fueron comparados los inventarios determinados a través de este segundo modelo de administración de inventario, teniendo como resultado un valor muy por encima de lo real consumido.

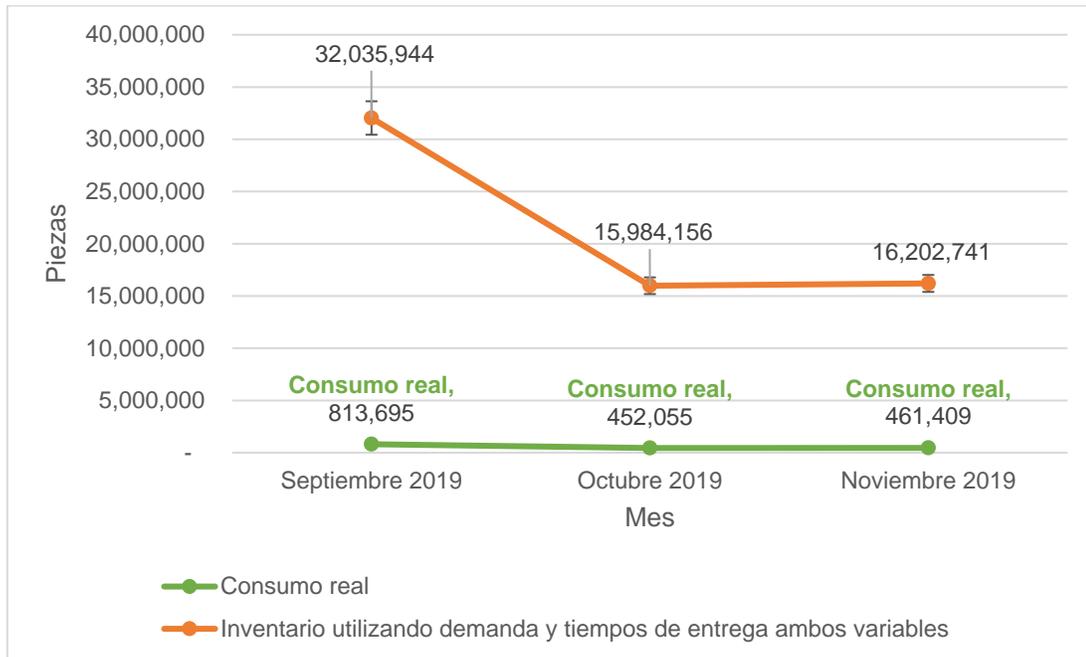


Figura 6. Comparativa entre cálculo de inventario con demanda y tiempos de entrega, ambos variables y el consumo real. Fuente: Elaboración propia.

Los datos mostrados en la figura 6 del modelo de administración de inventario con demanda y tiempos de entrega, ambos variables fue obtenida siguiendo la fórmula:

$$ROP = (\text{demanda promedio diaria} \times \text{tiempo promedio de entrega en días} + Z \sigma_{LT})$$

(Chase & Jacobs, 2006)

Donde:

ROP = Punto de reorden

σ_d = Desviación estándar de demanda por día

σ_{LT} = Desviación estándar del tiempo de entrega en días.

$$\sigma_{dLT} = \sqrt{(\text{Tiempo promedio de entrega} \times \sigma_d^2) + (\text{promedio de demanda por día})^2 \times \sigma_{LT}^2}$$

La determinación del inventario con demanda y tiempos de entrega ambos variables para los SCC bajo estudio es ejemplificada a continuación:

- Proyecto: SCC00001786
 - Demanda diaria promedio para producto afectado = 4,080 catéteres.
 - Desviación estándar de demanda diaria = 96 catéteres
 - Promedio de tiempo de entrega del proveedor = 90 días
 - Desviación estándar del tiempo de entrega del proveedor = 13 días
 - Nivel de servicio esperado = 95%
- Equivalente a $Z = 1.65$ (área bajo la curva del 95%).

$$\begin{aligned}
 \text{Punto de reorden} &= (4,080 \text{ cateteres} * 90 \text{ dias}) + 1.65 \sigma_{dLT} \\
 &= (4,080 * 90) + 1.65 \sqrt{(90 \text{ dias} * 96^2) + (4,080^2 * 13^2)} \\
 &= (367,200) + 1.65 \sqrt{(829,440) + (16,646,400 * 169)} \\
 &= (367,200) + 1.65 (53,047.818) \\
 &= (367,200) + 87,528.90 \\
 &= 454,728.9
 \end{aligned}$$

La figura 6 muestra la comparativa entre el inventario real consumido para los SCC abiertos en los meses de septiembre a noviembre contra el inventario planeado utilizando el modelo de administración de inventario de demanda y tiempos de entrega, ambos variables, dicho cálculo genera sobre inventario.

Capítulo 5. Discusión de resultados

La administración de inventario utilizando el modelo de demanda probabilística tuvo un porcentaje de error promedio durante los 29 proyectos monitoreados del 3.5% comparado contra el consumo real de los componentes afectados.

El modelo de demanda probabilística presenta un error en el cálculo de la administración de inventario menor al porcentaje inicial del área, reduciendo satisfactoriamente y cumpliendo con la hipótesis de reducir a menos del 16.65% el porcentaje de error en la estimación del inventario requerido para la transición del reemplazo de proveedores.

En este modelo de administración de inventario un factor determinante para poder reducir a un más el porcentaje de error recae en ingeniería de abastecimiento y en poder cumplir en el tiempo establecido inicialmente el proyecto de reemplazo del proveedor.

Los 29 proyectos proporcionan un dato importante para poder tomar en consideración para futuros cálculos de inventarios, como puede observarse en la figura 7 solo el 62% de los proyectos fueron completados en el tiempo planeado inicial establecido por el ingeniero a cargo del proyecto, mientras un 38% de estos proyectos tuvieron un retraso y tomaron más días en completarse.

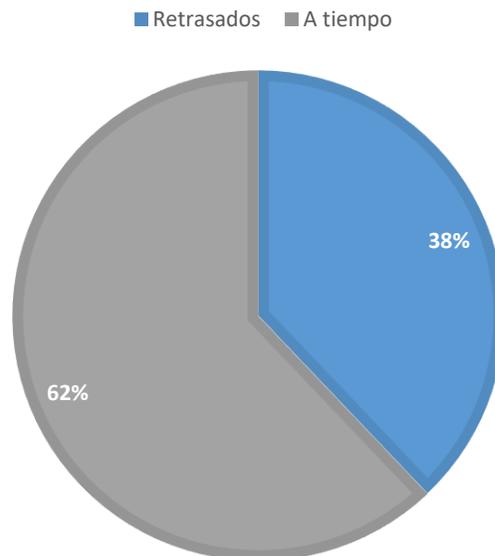


Figura 7: Cambios de proveedor completados a tiempo. Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 muestra la existencia de una variable no considerada en modelo de demanda probabilística para el cálculo de la administración de los inventarios, este factor es la adherencia al plan de calificación, los 11 proyectos retrasados presentaron una adherencia al plan inicial en promedio del 93%, tomando como base este valor podemos inferir una falla del 7% en los proyectos.

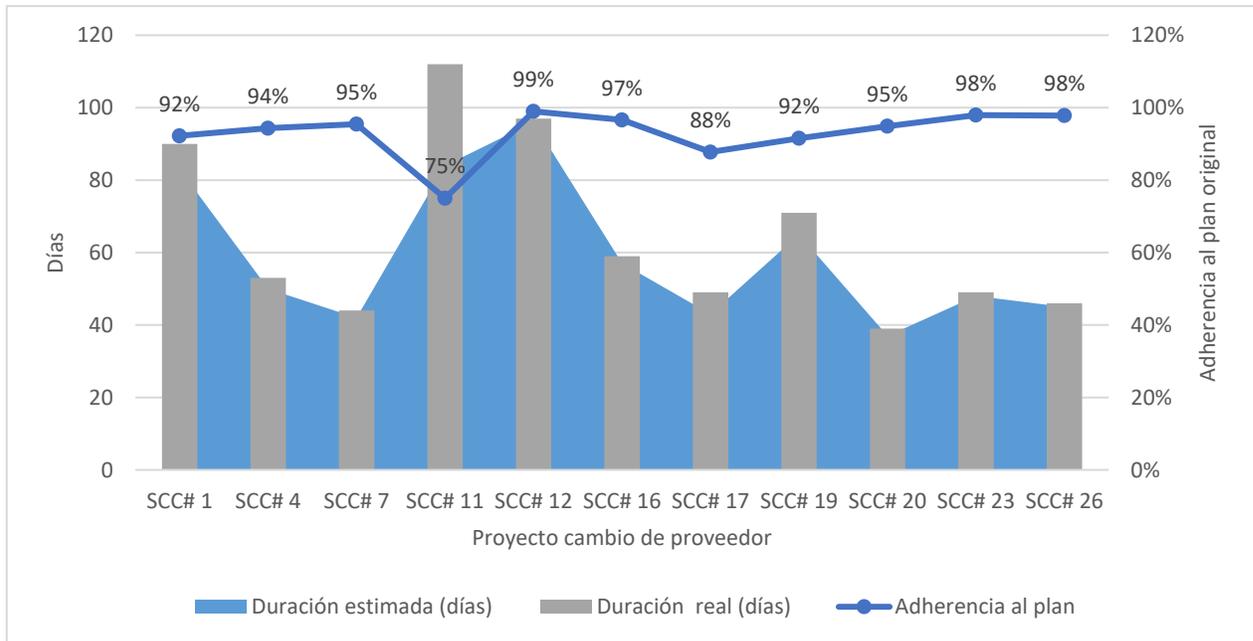


Figura 8. Comparativo de duración del proyecto planeada contra días transcurridos reales. Fuente: Elaboración propia.

La información anteriormente planteada permite hacer una simulación de los datos obtenidos en este estudio para probar una nueva hipótesis para reducir en mayor escala el error estimado en la administración de inventario en cambios de proveedor, realizando una fusión de la ecuación establecida anteriormente

$$ROP = (\text{Demanda durante el tiempo de entrega} + (Z)\sigma_{dLT}) * \text{Factor de corrección}$$

La simulación de esta nueva fórmula resultó

- Proyecto: SCC00001786
- Promedio de demanda para producto afectado = 91,662 catéteres.
- Desviación estándar de demanda durante el tiempo de entrega del proveedor = 3 catéteres.
- Nivel de servicio esperado = 95%
Equivalente a $Z = 1.65$ (área bajo la curva del 95%).
- Factor de corrección (No adherencia al plan) = 7%

$$\text{Inventario de seguridad} = Z_{\sigma_{dLT} = 1.65 (3)} = 4.95$$

$$\text{Punto de reorden} = 91,662 + 4.95$$

$$= 91,666 * 1.07$$

$$= 98,083$$

El utilizar un factor de corrección del 7% generaría un resultado de 98,083 catéteres y un porcentaje de error contra el consumo real del 2%, este porcentaje es menor al original calculado utilizando únicamente la demanda probabilística (8%).

La tabla 1 muestra un comparativo entre el porcentaje de error utilizando el cálculo de demanda probabilística contra el porcentaje de error usando un factor de corrección del 7%.

Tabla 1. Comparativo entre porcentajes de error

# SCC	% Error usando el inventario probabilístico (Sin factor de corrección)	% Error usando un factor de corrección 7%
SCC #1	-8%	-15%
SCC #2	8%	2%
SCC #3	6%	-1%
SCC #4	-3%	-10%
SCC #5	5%	-2%
SCC #6	8%	2%
SCC #7	-4%	-11%
SCC #8	7%	0%
SCC #9	8%	2%
SCC #10	7%	0%
SCC #11	-5%	-13%
SCC #12	-1%	-8%
SCC #13	4%	-3%
SCC #14	5%	-2%
SCC #15	8%	1%
SCC #16	-9%	-17%
SCC #17	-2%	-9%
SCC #18	6%	-1%
SCC #19	-2%	-9%
SCC #20	-5%	-13%
SCC #21	39%	35%
SCC #22	5%	-2%
SCC #23	-4%	-11%
SCC #24	9%	3%
SCC #25	5%	-2%
SCC #26	-1%	-8%
SCC #27	3%	-4%
SCC #28	7%	1%
SCC #29	9%	2%
Promedio de error	4%	-3%

La simulación de un nuevo cálculo utilizando un factor de recuperación permite tener un nuevo promedio de error final del -3% es decir, este nuevo modelo ocasionaría más proyectos con sobre inventarios.

La figura 9 muestra un comparativo de los 29 cambios de proveedor evaluados, la primera barra muestra los resultados obtenidos con un modelo de demanda probabilística considerando un factor de corrección del 7%, dando un total de ocho proyectos con cortos de inventario y 21 proyectos con sobre inventario contra 18 proyectos con cortos de inventario y 11 con sobre inventario utilizando el modelo de demanda probabilística sin ningún factor de corrección.

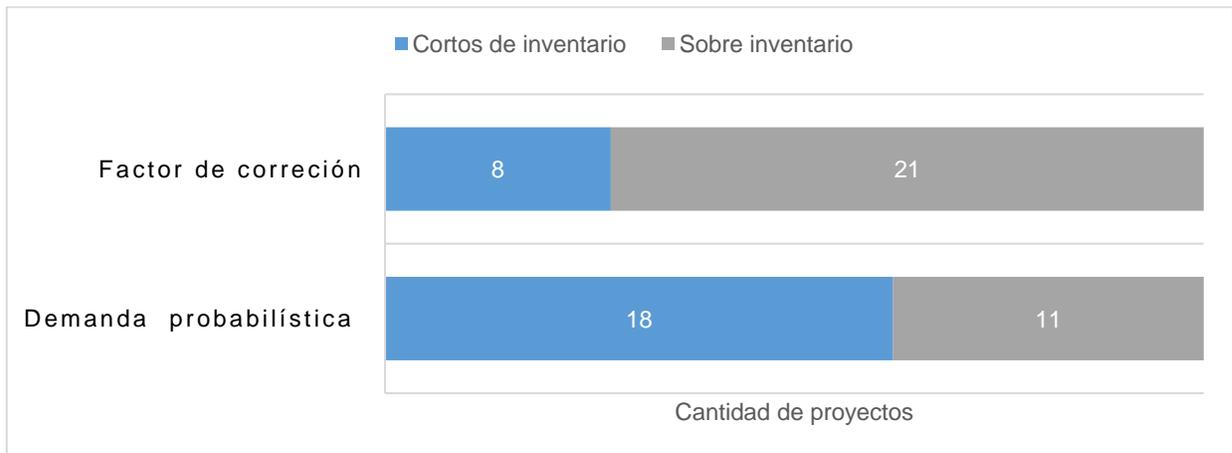


Figura 9.- Comparativo de estatus de inventario utilizando ambos modelos de inventario. Fuente: Elaboración propia.

La decisión de utilizar un factor de corrección y determinar cuál será dicho valor a considerar requerirá una investigación secundaria futura al igual una plática con gerencia para determinar valores aceptados de sobre inventario.

La adherencia al 100% al plan inicial planteada por el ingeniero de abastecimiento es parte crucial para poder cumplir con el cálculo de inventario requerido para la transición del reemplazo de proveedores en la empresa bajo estudio.

Capítulo 6. Conclusiones

La administración de inventario para 29 casos de cambio de proveedor con un modelo de demanda probabilística redujo el error con un intervalo de confianza del 95% de un (0.2%, 6.85%).

La administración del inventario para los 29 casos de cambio de proveedor utilizando un modelo de demanda probabilístico con un factor de corrección del 7% redujo ese error con un intervalo de confianza del 95% de un (-0.6%, 0.3%).

La investigación futura para continuar reduciendo el porcentaje de error del inventario utilizando el modelo por demanda probabilística, requeriría de una investigación experimental secundaria para probar el nuevo modelo planteado en el capítulo de discusión de resultados con datos empíricos con el factor de corrección del 7% durante los proyectos del año fiscal 2021 para verificar estadísticamente la exactitud del inventario para proyectos futuros.

Capítulo 7. Referencias

- Abastecimiento, I. d. (2019). *Fórmula para determinar inventarios para SCC* . Tijuana: Medtronic.
- Bobish, L. (2019). *Component Qualification risk for supplier changes*. Consultado septiembre 09 de 2019, de <http://wwwpi.corp.medtronic.com/gqms/document/getDocument.html?documentId=140878>.
- Chase, R. B., & Jacobs, F. R. (2006). En *Operations Management for competitive Advantage* (págs. 578-583). California: The McGraw-Hill Irwin.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). En *Supply chain management; strategy, planning, and operation* (págs. 188-192). Boston: Pearson.
- E.W, T. (1918). "The Most Economical Production Lot," *Iron Age*, Vol. 101, 1918, (págs. 1410-1412) New York. Marcel Dekker. Consultado el 13 de enero del 2020, de https://books.google.com.mx/books?id=bz_dgCLhhkUC&pg=PA69&dq=The+Most+Economical+Production+Lot.+The+Iron+Age&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwj6m6rTzp_oAhWEBs0KH8hCYsQ6AEIOzAC#v=onepage&q=The%20Most%20Economical%20Production%20Lot.%20The%20Iron%20Age&f=false, G, H., & T, W. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall.
- G, H., & T, W. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Englewood Cliffs: Literary Licensing. Consultado el 13 de enero del 2020, de <https://archive.org/details/AnalysisOfInventorySystems/page/n2/mode/2up>
- González, C. (2019). *Supplier Changes Control Medtronic Tijuana*. Tijuana: Oracle Corporation MAP - Production 9.3.4.
- Hernandez, M. (2019). Modelos de Pronosticos. *Administracion de Inventarios* (pág. 72). Tijuana: CETYS.

- Kutz, M. (2015). The Modeling Approach. En M. Kutz, *Mechanical Engineer's Handbook Fourth Edition* (págs. 65-73). New Jersey: John Wiley&Sons, Inc., Hoboken.
- Meana Coalla, P. P. (2017). 1.8 Modelos de gestion de inventarios. En P. P. Meana Coalla, *Gestion de Inventarios* (págs. 8,9). España: Paraninfo.
- Pérez, U. (2019). *Paros de producción por fallas en administración de inventarios*. Consultado el 11 de septiembre de 2019, de <http://sitebuilder2.medtronic.com/cvg/SCETJ/SitePages/Home.aspx?RootFolder=%2Fcv%2FSCETJ%2FShared%20Documents%2FHigh%20Impact%20Meeting&FolderCTID=0x01200001D2BA68EDC9DB47BA582EA5DA0C1AE6&View={83D0B96E-0CB4-4E9B-B229-85CACF35C2D1}>
- S.R, Y., & A.K., M. (2014). Probabilistic inventory models. En Y. S.R, & M. A.K., *Operations research* (págs. 560, 563). India: Oxford University Press.
- Sarker, R. B., Webster, B. D., & Ray, T. G. (2015). Inventory Models. En *Production Planning* (págs. 63-66). Louisiana: John Wiley & Sons.
- Solis, A. (2019). *Discrepancia de inventarios*. Consultado el 02 de noviembre 2019, de <https://app.powerbi.com/groups/24fc8231-6a5b-4894-bc7b-425252427b9d/reports/80b8f43a-b377-4529-a005-d3fec3e6f43/ReportSection>
- Stevenson, W. J. (2012). Inventory Management. En W. J. Stevenson, *Operations Management* (págs. 566-594). New York: McGraw-Hill Irwin.
- U.S Army, W. (2013). Engineering design handbook. En *Army Weapon systems analysis, parts one and two* (págs. 11-14). USA: DARCOM-P 706-101, 706-102.
- Waller, M. A., Esper, E. L., & CSCMP. (2017). *Administracion de Inventarios*. Mexico: Pearson Espanol.