

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

UNIDAD DE TITULACIÓN

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA
GESTIÓN DE INVENTARIOS EN UNA EMPRESA QUE OPERA EN
EL SECTOR PETROLERO Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE
CONTROL DE ÍTEMS AGRUPADOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS CON MENCIÓN EN
OPERACIONES EN SECTORES ESTRATÉGICOS**

LORENA JACQUELINE GUANOLUISA ACERO

lorena.guanoluisa@epn.edu.ec

Director: PEDRO ENRIQUE BUITRON FLORES

pedro.buitron@epn.edu.ec

2021

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación Análisis del impacto de la incertidumbre en la gestión de inventarios en una empresa que opera en el sector petrolero y propuesta de un sistema de control de ítems agrupados desarrollado por Lorena Jacqueline Guanoluisa Acero, estudiante de la Maestría en Administración de Empresas con mención en Operaciones en Sectores Estratégicos, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

PEDRO ENRIQUE BUITRON FLORES

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Lorena Jacqueline Guanoluisa Acero, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Lorena Jacqueline Guanoluisa Acero

DEDICATORIA

A mi madre y a mi hijo quienes fueron mi inspiración para seguir adelante con mis estudios y tuvieron la paciencia y el amor para apoyarme cada día y cada noche.

AGRADECIMIENTO

A DIOS por dame la salud y guiar mis pasos para continuar mis estudios.

A mi familia, mis padres, mis hermanos, mi esposo y mi hijo por estar a mi lado apoyándome incondicionalmente.

A mi director Msc. Pedro Buitron por su guía en la realización de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE ANEXOS	iv
RESUMEN	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	3
1.2. OBJETIVO GENERAL	3
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. HIPÓTESIS O ALCANCE (DE SER EL CASO).....	4
1.5. MARCO TEÓRICO.....	4
1.5.1. Análisis de impacto.....	4
1.5.1.1. Evaluación de impacto.....	4
1.5.1.2. Mitigación.....	5
1.5.2. Pronósticos	6
1.5.2.1. Características de los pronósticos.....	6
1.5.2.2. Métodos de pronóstico	6
1.5.2.3. Medición del error del pronóstico	7
1.5.2.4. Selección del método de pronóstico	8
1.5.2.5. Pronóstico de series de tiempo	9
1.5.2.5.1. Promedio móvil	10
1.5.2.5.2. Método de ajuste exponencial simple.....	10
1.5.2.5.3. Método de ajuste exponencial doble	11
1.5.3. Gestión de inventarios.....	11
1.5.3.1. Clasificación de artículos.....	12
1.5.3.1.1. Proceso analítico jerárquico (AHP, Analytic hierarchy process)	13
1.5.3.2. Costos relacionados con el inventario	16
1.5.3.2.1. Costos de adquisición	16
1.5.3.2.2. Costos de mantener inventario	16
1.5.3.2.3. Costos por falta de existencias.....	18

1.5.3.2.4.	Costo total relevante	18
1.5.4.	Sistemas de control de inventarios considerando la incertidumbre en la cadena de suministro	19
1.5.4.1.	Inventario de seguridad	21
1.5.4.2.	Sistema de control continuo (s,Q)	22
1.5.4.2.1.	Determinación del punto de reorden	23
1.5.4.2.2.	Reglas de Decisión del sistema (s,Q)	23
1.5.4.3.	Sistema de Control Periódico (R,S).....	24
1.5.4.4.	Tiempo de reposición Aleatorio	25
1.5.4.5.	Control de ítems agrupados	25
1.5.4.6.	Curvas de intercambio probabilísticas.....	26
1.5.4.7.	Sistema periódico de reabastecimiento.....	26
2.	METODOLOGÍA	28
2.1.	Enfoque del proyecto de investigación	28
2.2.	Alcance de la investigación.....	28
2.3.	Diseño de la investigación	28
2.4.	Selección de la muestra.....	29
2.5.	Recolección y análisis de datos.....	29
2.6.	Procedimiento	30
2.6.1.	Revisión de la situación actual de la empresa.....	30
2.6.2.	Categorización de la demanda inventarios.....	30
2.6.2.1.	Selección de proveedores mediante AHP.....	30
2.6.2.2.	Selección de productos mediante AHP	31
2.6.2.3.	Categorización del patrón de demanda de los productos	31
2.6.2.4.	Selección del modelo de pronóstico	31
2.6.3.	Análisis del sistema de control de inventarios para ítems agrupados	32
2.6.4.	Selección del sistema de control para ítems agrupados	32
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1.	RESULTADOS.....	33
3.1.1.	Situación actual de la gestión de inventarios de la empresa	33
3.1.2.	Categorización de la demanda	34
3.1.2.1.	Selección de proveedores mediante AHP.....	34
3.1.2.1.1.	Selección proveedor nacional.....	36

3.1.2.1.2.	Selección proveedor internacional.....	37
3.1.2.2.	Selección de productos mediante AHP	39
3.1.2.3.	Análisis de la demanda de productos seleccionados mediante AHP.....	43
3.1.2.4.	Selección del modelo de pronóstico	46
3.1.3.	Análisis del sistema de control de inventarios para ítems agregados	48
3.1.3.1.	Control de ítems agregados nacionales	48
3.1.3.2.	Control de ítems agregados internacionales	53
3.1.4.	Selección del sistema de control de inventarios para ítems agregados	56
3.1.5.	Análisis del impacto de la incertidumbre en la gestión de inventario.....	57
3.2.	DISCUSIÓN	58
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
4.1.	CONCLUSIONES	60
4.2.	RECOMENDACIONES.....	62
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXOS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimiento de un sistema de pronóstico	10
Figura 2 – Diagrama de flujo del modelo AHP	14
Figura 3 – Perfil de inventario con inventario de seguridad.....	21
Figura 4 – Control de inventario (s,Q)	22
Figura 5 – Control de inventario (R,S).....	24
Figura 6 – Árbol de jerarquías	30
Figura 7 – Representación gráfica de la situación actual de la empresa	34
Figura 8 – Demanda a través del tiempo para productos nacionales.....	44
Figura 9 – Demanda a través del tiempo para productos internacionales	45
Figura 10 – Curva de intercambio del inventario de seguridad (SS) contra el No. Total de ocasiones de faltantes por año (NTEF).....	51
Figura 11 – Curva de intercambio del inventario de seguridad (SS) contra el No. Total de ocasiones de faltantes por año (NTEF).....	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Los sistemas de pronósticos y la categorización de demanda	8
Tabla 2 – Sistemas de pronósticos de acuerdo con la clasificación ABC	9
Tabla 3 – Escala de medida de importancia	14
Tabla 4 – Porcentaje en el inventario del valor de costos asociados a mantener inventario.....	17
Tabla 5 – Comparación entre los sistemas de revisión periódica y continua.	20
Tabla 6 – Matriz de comparación de criterios proveedores nacionales e internacionales	36
Tabla 7 – Selección de proveedor nacional	37
Tabla 8 – Selección de proveedor internacional.....	38
Tabla 9 – Productos nacionales para análisis de proveedor P1	39
Tabla 10 – Productos nacionales para análisis de proveedor P1.....	41
Tabla 11 – Productos provistos por proveedor P6	41
Tabla 12 – Selección de grupo de productos internacionales.....	43
Tabla 13 – Productos internacionales para análisis.....	43
Tabla 14 – Cálculo de coeficiente de variación	45
Tabla 15 – Análisis de modelo de pronóstico para productos de compra nacional	46
Tabla 16 – Análisis de modelo de pronóstico para productos de compra nacional	47
Tabla 17 – Características de ítems de compra nacional e internacional.....	48
Tabla 18 – Indicadores para cada ítem y totales para la política de inventarios actual para productos de compra nacional.....	49
Tabla 19 – Indicadores para control conjunto de ítems nacionales	50
Tabla 20 – Determinación del punto de reordenamiento ítems nacionales	51
Tabla 21 – Valores de inventario máximo para cada punto de la curva de intercambio (ítems nacionales).....	52
Tabla 22 – Costo total relevante para ítems nacionales	52
Tabla 23 – Indicadores para cada ítem y totales para la política de inventarios actual para productos de compra internacional.....	53

Tabla 24 – Indicadores para control ítems agregados internacionales	54
Tabla 25 – Determinación del punto de reordenamiento ítems internacionales	55
Tabla 26 – Valores de inventario máximo para cada punto de la curva de intercambio (ítems internacionales).....	56
Tabla 27 – Costo total relevante para ítems internacionales	56
Tabla 28 – Sistema de control de inventario seleccionado para ítems nacionales e internacionales	57

LISTA DE ANEXOS

Anexo I – Valores de las funciones de distribución Normal para valores de k entre 0.00 y 1.99	67
Anexo II – Selección de proveedores mediante proceso analítico jerárquico	71
Anexo III – Selección de productos mediante proceso analítico jerárquico.....	75
Anexo IV – Cálculo de costo total relevante.....	78

RESUMEN

El presente proyecto de investigación analiza la incidencia de la incertidumbre en la gestión de inventarios en una empresa que opera en el sector petrolero. Se establece en primera instancia, los proveedores y productos de mayor relevancia para la empresa, utilizando el proceso analítico jerárquico (AHP), en el cual se consideró tres criterios para proveedores y cuatro criterios para productos, definiéndose dos categorías, una para productos de compra nacional y otra para productos de compra internacional. Con los proveedores y productos establecidos, se consolida la data histórica de demanda, con la cual se calculó el coeficiente de variación y se estableció el tipo de demanda que administra la empresa. Otros datos relevantes en el estudio son el tiempo de entrega, costos de ordenamiento, niveles de servicio y el valor unitario. La data adquirida permite el cálculo de curvas de intercambio, en las cuales se analizó la situación actual de la empresa y cuál sería el escenario óptimo mediante la comparación del costo total relevante en cada uno de los puntos de la curva. La parte final de este trabajo permite proponer un sistema de control de inventarios considerando el efecto de la incertidumbre y basados en el costo total relevante.

Palabras clave: inventario, proceso analítico jerárquico, incertidumbre, demanda, ítems agrupados.

ABSTRACT

This research project analyzes the incidence of uncertainty in inventory management in a company that operates in the oil sector. In the first instance, the suppliers and products of greatest relevance to the company are established, using the Analytic hierarchy process (AHP), in which three criteria for suppliers and four criteria for products were considered, defining two categories, one for purchasing products. national and another for international purchase products. With the established suppliers and products, the historical demand data is consolidated, with which the coefficient of variation was calculated, and the type of demand managed by the company was established. Other relevant data in the study are delivery time, ordering costs, service levels and unit value. The data acquired allows the calculation of exchange curves, in which the current situation of the company was analyzed and what would be the optimal scenario by comparing the relevant total cost at each point of the curve. The final part of this work allows proposing an inventory control system considering the effect of uncertainty and based on the relevant total cost.

Keywords: Inventory, Analytic hierarchy process, uncertainty, demand, grouped items.

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador produce diariamente un promedio de 517 mil barriles según el último dato obtenido de julio de 2020, la producción petrolera tiene una tendencia de alza. Petroamazonas EP, la empresa pública encargada de la exploración y explotación de crudo, reporta una producción de 412 mil barriles; mientras que las compañías privadas extraen en conjunto 106 mil barriles, esto según los datos de la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (Petroamazonas, 2020). Para mantener esta cantidad de producción, el gobierno en el Ecuador ha ido concediendo la adjudicación de diferentes campos a lo largo de los años, lo cual ha permitido el crecimiento del sector de servicios petroleros. Entre los últimos contratos adjudicados están el proyecto ITT y la adjudicación de campos menores a diferentes empresas del sector.

Cada una de las empresas involucradas en la prestación de servicios petroleros, tales como Halliburton, CCDC, CPVEN, Schlumberger, Sinopec, entre otras, deben manejar una cantidad importante de inventario asociado a cada una de sus actividades de manera que no afecte su operación ni impacte su situación financiera. Por tanto, la gestión de inventario constituye un aspecto fundamental dentro de la actividad económica de una empresa ya que permite su óptimo desarrollo y genera un crecimiento de ésta. La gestión de inventarios sea de materia prima o productos terminados llevada de manera adecuada es indispensable para evitar costos y gastos innecesario. Este control y gestión de inventario requiere una revisión continua y periódica debido a que las condiciones de los métodos que pueden analizarse están en constante variación (Gutiérrez & Vidal, 2008).

Toda empresa maneja distintos tipos de inventario, por lo tanto, la gestión de sistemas de inventarios es una de las funciones más importantes y complejas (Dolgui, Ben Ammar, Hnaien, & Louly, 2013). El inventario será definido en función de la demanda de los clientes y el tiempo de entrega (lead time), los cuales no se pueden predecir con exactitud, por tanto, es importante definir y entender el concepto de inventario de seguridad (safety stock), el cual será usado para cubrir la demanda que excede la cantidad pronosticada al menor costo (Valencia, Díaz, & Correa, 2015).

Actualmente, las empresas que trabajan en el sector petrolero presentan falencias en cuanto al control del inventario. Se suele pensar que el abastecimiento constante y el sobre stock evitará la pérdida de trabajos por falta de producto; sin embargo, esto ha conllevado a incrementar costos de almacenamiento y mantenimiento de estos, e incluso se ha

terminado pagando un valor por la destrucción de los productos obsoletos que se han almacenado. El componente de la demanda se mide a través de un pronóstico el cual está sujeto a un componente probabilístico que involucra la incertidumbre, de igual manera ocurre con el tiempo de entrega. Estos dos aspectos del control de inventario, demanda y tiempo de entrega presentan dos componentes uno sistémico y otro aleatorio. Este segundo componente que enmarca a la incertidumbre es estimado a través del error del pronóstico el cual es medido de dos maneras, mediante el cálculo de la desviación estándar del error de pronóstico o el coeficiente de variación (Chopra & Meindl, 2008). Este factor puede generar tiempos adicionales en la entrega de los productos ocasionando pérdidas para la empresa al no cumplir con los requerimientos de tiempos y cantidades con el cliente.

En esta investigación se analizará datos de una empresa la cual opera en el sector petrolero en el área de perforación y completación de pozos en el oriente ecuatoriano con el suministro de productos químicos para estas operaciones. Con fines de confidencialidad se omite el nombre de ésta y se la conocerá a lo largo de la investigación como “la empresa”. Hoy en día, la empresa es la compañía líder en el Ecuador con la más completa gama de productos de cuyo mercado en constante crecimiento abarca el sesenta por ciento. Su objetivo es hacer negocios de forma coherente y transparente con todos sus clientes y no tener participaciones accionarias en los activos de éstos. Los clientes depositan una gran confianza en la empresa, especialmente cuando se trata de manejar información sensible y confidencial. La reputación de integridad y trato justo es de vital importancia para ganar y conservar esta confianza. En la empresa trabajan 168 personas distribuidas de la siguiente manera: un gerente, cuatro ingenieros de operaciones, tres ingenieros de ventas, dos laboratoristas (uno en Quito y uno en Coca), cinco personas en el área financiera, tres en el área logística, dos en el control de inventario, tres para el despacho de química y ciento cuarenta y cinco personas en operaciones en campo.

La empresa, filial de una empresa transnacional, maneja inventario de productos terminados que pueden ser importados o de compras nacionales, lo cuales se reciben en su base estratégicamente ubicada en la ciudad del Coca para posteriormente ser usados cuando los clientes los requieran en los diferentes pozos del oriente. Los datos de inventarios que se manejan dentro de la empresa fluctúan alrededor de setenta ítems de los cuales el treinta por ciento presentan un inventario de seguridad alto. El costo actual que representa el inventario esta alrededor del quince por ciento de las ganancias, las cuales fluctúan alrededor de setenta millones de dólares anuales. El costo del inventario contabilizado no solo como el costo de productos sino la movilización, los obsoletos y el

bodegaje. La demanda de cada producto varía en función de la actividad de perforación que a su vez depende del precio del petróleo y las necesidades de exportación que tenga el Ecuador, lo cual genera una incertidumbre al momento gestionar el inventario.

Este proyecto de investigación se basa en aspectos de mejora tanto en rentabilidad económica de la empresa y satisfacción del cliente como en reducir los costos para evitar riesgos de pérdida de negocios. Se ha propuesto este proyecto por las siguientes razones:

- Se ha observado una pérdida de rentabilidad por tener que liquidar productos que han llegado a caducarse debido al vencimiento del tiempo de vida útil debido a un sobre-stock de inventario en algunos productos
- El inventario de seguridad es un aspecto que se ha dejado de lado, el bajo stock de inventario manejado ha puesto en riesgo las operaciones en diversas ocasiones debido a la incertidumbre de la demanda y el tiempo de entrega.
- El costo de mantenimiento y almacenaje ha ido aumentando debido al sobre stock de algunos de los productos.

1.1. Pregunta de investigación

Uno de los principales retos de las organizaciones es la gestión de inventarios, ¿Cuándo hacer los pedidos? y ¿Cuánto ordenar?, siendo una parte vital en la cadena de valor; de la gestión eficaz y eficiente, depende el cumplimiento de estos objetivos

Es de esta situación observada en la empresa que parte la necesidad de realizar el presente estudio basado en la interrogante de ¿cuál sería el impacto de la incertidumbre en la gestión de inventarios en una empresa del sector petrolero y cuál sería la mejor propuesta de un sistema de control de ítems agrupados?

1.2. Objetivo general

Analizar el impacto de la incertidumbre en la gestión de inventarios en una empresa del sector petrolero y definir una propuesta de un sistema de control de ítems agrupados.

1.3. Objetivos específicos

- Explicar la situación actual de la gestión de inventarios en una empresa que opera en el sector petrolero

- Categorizar la demanda de los productos que ofrece una empresa que trabaja en el sector petrolero.
- Contrastar los sistemas de control de inventarios de ítem múltiples con base en el costo total relevante.
- Seleccionar el sistema de control de inventarios que genere menor impacto debido a la variabilidad de la demanda y el tiempo de reposición.

1.4. Hipótesis o Alcance (de ser el caso)

De acuerdo con lo señalado por Bernal (2010) y Aktouf (2001) para el proyecto de investigación presentado no se requiere la formulación de hipótesis debido a que la metodología de la investigación es de tipo caso de estudio, no experimental y descriptiva.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Análisis de impacto

Toda empresa está sometida a variaciones en sus procesos, los cuales pueden generar impactos de diversas trascendencias. Una variable puede tener impactos positivos o negativos dentro del cumplimiento de los objetivos, conocer si este objetivo se ha logrado o no, es fundamental, y se logra mediante un análisis de impacto. Las evaluaciones de impacto miden el impacto promedio en los resultados que son generadas por un proyecto, programa o política definido al ser implantado en una empresa. Para establecer una relación causal, las evaluaciones de impacto se basan en un conjunto de métodos experimentales y cuasi-experimentales (Gertler, Martínez, Premad, Rawling, & Vermeersch, 2017).

1.5.1.1. Evaluación de impacto

La evaluación de una variable o procedimiento se realiza de manera periódica, el objetivo es responder preguntas relacionadas con las repercusiones de dichas variables dentro de un proceso. Entre las preguntas más generales, Gertler et al. (2017), señala los siguientes tipos:

- Preguntas descriptivas, hace referencia a lo que está ocurriendo en los procesos, las condiciones del ente a ser analizado.
- Preguntas normativas, analizan lo que ocurre contra lo que debería ocurrir, se valora las actividades y se investiga si se cumplen los objetivos

- Preguntas de causa y efecto, se enfoca en lo resultados producidos al aplicarse un proceso de cambio en una variable.

La evaluación de impacto está definida para responder la pregunta de causa y efecto ¿Cuál es el efecto causal de un programa o variable en un resultado de interés? Esta pregunta básica definida, se puede aplicar en diferentes contextos, por ejemplo, ¿Cuál es el impacto de incertidumbre en la gestión de inventarios en una empresa que opera en el sector petrolero? La evaluación de impacto no es una herramienta que deba ser utilizada en el análisis de toda variable sino en aquellas que requieran un análisis exhaustivo de causalidad.

Las evaluaciones de impacto (Δ) definen en qué medida una variable, proceso o programa (P) generó un cambio en un resultado (Y) de interés. La fórmula que define este cambio es la siguiente:

$$\Delta = (Y|P = 1) - (Y|P = 0) \quad (1)$$

Donde,

Δ : Impacto causal

P: variable, programa o proceso

Y: resultado de la aplicación de una variable

De acuerdo con la fórmula 1 expuesta, el impacto causal resulta de la diferencia entre el resultado cuando se tiene la influencia del programa o variable y el resultado de no existir la influencia de la variable. Para realizar una correcta comparación es necesario definir un grupo de comparación con el cual se estimará el contrafactual y responderá la pregunta de interés en este caso ¿Cuál es el impacto de la incertidumbre? (Khandker, Koolwal, Samad, & Hussain, 2010).

1.5.1.2. Mitigación

La mitigación consiste en aplicar medidas o estrategias que permitan contrarrestar y minimizar los impactos en los resultados de interés. Dentro de las actividades que se debe considerar para realizar una correcta mitigación de los impactos esta:

- Identificar el impacto negativo sobre el cual se requiere tomar medidas
- Definir las medidas para minimizar o evitar los impactos
- Compensar el impacto residual para llegar a un impacto cero o impacto positivo neto

1.5.2.Pronósticos

A nivel organizacional, toda empresa durante su proceso de decisión debe realizar pronósticos, los cuales les permitan tener una idea a futuro de las situaciones que pueden enfrentar. Estos pronósticos pueden ser de índole financiera, operacional, de comercialización, con especial atención a las actividades de la cadena de suministro donde la demanda y el tiempo de entrega están inmersa y deben tener el menor margen de error para la eficiencia en el manejo de inventarios (Vidal, 2010).

Como menciona Corres et al. (2009) en su artículo, el pronóstico es una herramienta básica en la toma de decisiones de la administración y, en particular, es un componente esencial para que cualquier sistema de inventarios tenga éxito.

1.5.2.1. Características de los pronósticos

Chopra & Meindl (2008) señala las siguientes características para los pronósticos:

- Los pronósticos siempre están errados, el cual se debe considerar en una medida de error en los pronósticos.
- Los pronósticos a corto plazo son más confiables que aquellos realizados a largo plazo debido a que entre más tiempo se considere se tendrá una mayor desviación estándar en relación con la media.
- Se tiene un error de pronóstico mayor cuando la empresa se encuentra más lejos del consumidor, por lo cual se presenta un efecto látigo.

1.5.2.2. Métodos de pronóstico

Rodríguez et al. (2005) y diversos autores señalan los siguientes métodos de pronóstico:

- Cualitativos. Son métodos subjetivos que son utilizados cuando no se cuenta con datos históricos, como por ejemplo en industrias pioneras que empiezan a formarse. Dentro del grupo está el Método Delphi, encuestas, métodos de juicio, entre otros (Chopra & Meindl, 2008).
- Causales. Son métodos cuantitativos que asumen correlación entre los pronósticos de una variable interna (demanda) con factores externos (economía, tasas de

interés). Lo difícil del método es encontrar variables que sean efectivamente causales (Ballou, 2004).

- Simulación. En este método se simula el comportamiento del cliente en la selección que realizaría para pronosticar demandas futuras. En este método se combina con series de tiempo y métodos causales (Vidal, 2010).
- Análisis de series de tiempo. Este método utiliza la información histórica como base para predecir los datos futuros en el corto plazo. Las principales herramientas son modelos matemáticos y estadísticos.

La complejidad de los modelos no implica una mayor exactitud en los pronósticos según lo mencionado por Chopra & Meindl (2008).

1.5.2.3. Medición del error del pronóstico

El error que se obtiene al utilizar un método determinado de pronóstico debe ser lo menor posible. Esta medida del error se define como la precisión de un método de pronóstico y se obtiene de la diferencia entre el valor real obtenido y el valor pronosticado en un mismo periodo (Heizer & Render, 2004).

$$\text{Error de pronóstico } e_t = x_t - \hat{x}_t \quad (2)$$

Donde,

e_t : error de pronóstico para un periodo t

x_t : valor real en el periodo t

\hat{x}_t : pronóstico para un periodo t, calculado en un periodo anterior

Dado que el error para un solo periodo no es muy útil, se requiere realizar la medición del error acumulativo en varios periodos. De acuerdo con Silver et al. (2017) y Heizer & Render (2004), las tres medidas más comunes son desviación absoluta media (*mean absolute deviation, MAD*), error cuadrático medio (*mean square error, MSE*) y error porcentual absoluto medio (*mean absolute percent error, MAPE*).

- La Desviación absoluta media (MAD) mide la precisión de un pronóstico mediante el promedio de los errores absolutos durante los periodos analizados (n).

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \hat{x}_t|}{n} \quad (3)$$

- El error cuadrático medio (MSE) se relación con la varianza del error de pronóstico y se define como el promedio de los errores cuadráticos para un numero de periodos determinado (n)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n} \quad (4)$$

- El error porcentual absoluto medio (MAPE) es de utilidad cuando se busca calcular los errores en términos de porcentaje en lugar de unidades.

$$MAPE = \frac{100 * \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right|}{n} \quad (5)$$

1.5.2.4. Selección del método de pronóstico

La elección del método de pronóstico se debe realizar en función del patrón de datos que se tengan en función de los datos históricos, entre los que se puede encontrar datos aleatorios, datos uniformes, datos estacionales y datos erráticos como se observa en la tabla 1 (Vidal, 2010).

Tabla 1 – Los sistemas de pronósticos y la categorización de demanda

Patrón de demanda observado	Sistema de pronóstico recomendado
Perpetua, estable o uniforme	Promedio móvil o suavización exponencial simple
Con tendencia creciente o decreciente	Regresión lineal simple o suavización exponencial doble
Estacional o periódica	Modelos periódicos de Winters
Demandas altamente correlacionadas	Métodos integrados de promedios móviles auto-regresivos (ARIMA)
Errática (Por ejemplo, en ítems clase A de bajo movimiento)	Pronostico combinado de tiempo entre la ocurrencia de demandas consecutivas la magnitud de las transacciones individuales (Método de Croston y relacionados)

Vidal (2010) señala al coeficiente de variación como un instrumento para categorizar a la demanda. Si el coeficiente de variación es mayor o igual a 1, la demanda puede catalogarse como errática, caso contrario la demanda puede considerarse estacionaria o perpetua.

$$C.V. \text{ de la demanda} = \frac{\sigma_D}{D} \quad (6)$$

Donde,

σ_D : desviación estándar de la demanda

\bar{D} : demanda promedio

Por otro lado, Silver et al. (2017) define al coeficiente de variación con valores menores al 0.25 la demanda se debe considerar determinística y para valores mayores a 0.25 la demanda será variable.

Además del patrón de la demanda, Vidal (2010) señala al tipo de ítem de acuerdo con la clasificación ABC para definir que método de pronóstico a utilizar como se observa en la tabla 2.

Tabla 2 – Sistemas de pronósticos de acuerdo con la clasificación ABC

Características	Políticas de control	Métodos de control
Ítems clase A (los más importantes) Relativamente pocos ítems El mayor porcentaje del volumen de ventas (en \$)	Control estricto con supervisión personal Cubrimiento de existencias entre 1 y 4 semanas	Pronósticos con suavización exponencial doble Políticas basadas en el nivel de servicio al cliente
Ítems clase B Ítems importantes Volumen de venta (en \$) considerable	Control clásico de inventarios Cubrimiento de existencias entre 2 y 8 semanas	Pronósticos con suavización exponencial simple Reporte por excepciones
Ítems clase C Muchos ítems Bajo volumen de ventas (en \$), ítems de muy bajo valor unitario	Supervisión mínima Pedidos bajo orden Tamaño de orden grandes Cubrimiento de existencias entre 3 y 20 semanas	Sistemas de control simple Promedio móvil (aceptar el pronóstico) Sistema automático

1.5.2.5. Pronóstico de series de tiempo

El método más utilizado dentro de los pronósticos en inventarios es el método de series de tiempo para el cual, Silver et al. (2017) sugiere el procedimiento de la figura 1. Dentro de este proceso se observa la importancia del juicio humano, además, la demanda pronosticada para un periodo siempre se compara con los datos obtenidos para definir el error. La importancia del monitoreo del error en el pronóstico radica en que basado en este resultado se definirá el inventario de seguridad del cual depende el nivel de servicio al cliente.

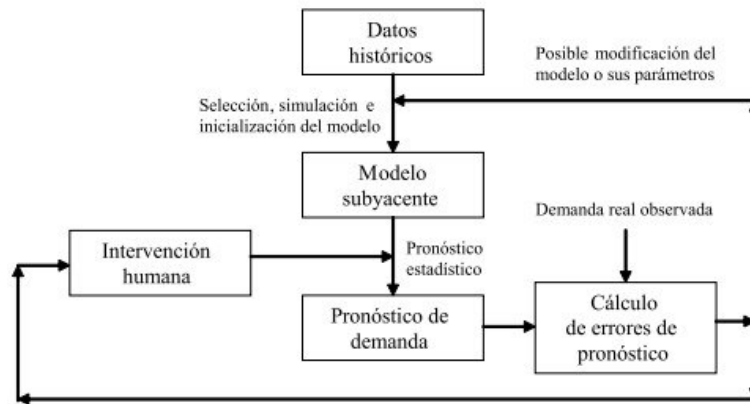


Figura 1 – Procedimiento de un sistema de pronóstico

Existen diferentes métodos dentro de los pronósticos de series de tiempo, Vidal (2010) menciona los siguientes:

1.5.2.5.1. Promedio móvil

Es uno de los métodos más simples y útiles, se utiliza cuando el patrón de demanda es uniforme. La ecuación 7 es la que define este método.

$$x_t = b + e_t \quad (7)$$

Donde,

x_t : valor real de la demanda en un periodo definido

b : constante que representa el proceso de demanda uniforme

e_t : variable aleatoria normal con media cero y varianza mayor a cero. Este término simboliza la parte aleatoria del proceso.

1.5.2.5.2. Método de ajuste exponencial simple

$$S_T = \alpha x_T + (1 - \alpha)S_{T-1} \quad (8)$$

Donde,

S_T : pronóstico realizado al final del periodo T, es la estimación del parámetro b .

S_{T-1} : estimación del parámetro b al final del periodo T-1

x_T : demanda real al final del periodo T

α : constante de suavización

1.5.2.5.3. Método de ajuste exponencial doble

Este método es utilizado para demanda con patrones que tengan tendencias ya sea creciente o decreciente. La fórmula 9, define este método.

$$x_t = b_1 + b_2 + e_t \quad (9)$$

Donde,

x_t : valor de la demanda en un tiempo t

b_1 : componente fija de la demanda

b_2 : componente de la tendencia de la demanda

e_t : termino que representa la parte aleatoria del proceso, con media cero y varianza mayor a cero.

1.5.3. Gestión de inventarios

El ambiente competitivo en el cual se encuentran inmerso hoy en días las organizaciones llevan a buscar una mejora en su desempeño que le permita sobresalir, siendo los inventarios uno de los factores más complejos. Los inventarios constituyen el costo más elevado dentro de una empresa por lo cual su correcta administración es un elemento estratégico que determina el cumplimiento o fracaso de los objetivos, como es el cumplir con el nivel de servicio manteniendo costos razonables (Babiloni, Cardós, Albarracín, & Palmer, 2007).

El inventario se define como las existencias de todo producto o artículo que es empleado en una empresa (Hopp & Spearman, 2001). Por tanto, los inventarios son necesarios para toda actividad en las empresas, por lo cual se busca una gestión adecuada para evitar desabastecimiento o sobre stock.

Como menciona Gutiérrez & Vidal (2008), los problemas típicos de inventarios son las inexistencias y los excesos, generalmente en las empresas se tienen exceso en los productos que no se venden y faltantes en aquellos productos que representan las mayores ventas. Por tanto, una adecuada gestión de inventarios es mantener la cantidad adecuada de inventario tal que se satisfaga la demanda del consumidor, así como también controle los costos en el nivel más bajo (Ben Ammar, Dolgui, Hnaïen, & Luoly, 2013).

En los últimos años se ha señalado al mantenimiento de los inventarios como algo innecesario y antieconómico. Sin embargo, como se ha mencionado, el mantener inventario se relaciona con el nivel de servicio con el cliente. Generalmente los clientes realizan pedidos que requieren ser despachados inmediatamente, el tener inventario disponible permite realizar la venta e incluso incrementar las referencias con futuros clientes (Ballou, 2004). Un claro ejemplo GTM empresa que provee de Sulfato de Bario a la industria petrolero, mantiene sus niveles de stock altos, sin embargo, la cantidad de ventas realizadas son superiores a los costos asociados.

El costo asociado con el mantenimiento de inventario puede paradójicamente significar una reducción en los costos de operación de otras actividades de la cadena de suministro. El mantener inventario puede favorecer a economías de producción, las compras anticipadas y en mayor volumen permitir realizarlas a precios actuales más bajos que los futuros (Hopp & Spearman, 2001).

Adicional al mantenimiento óptimo de cantidades de artículos en una empresa, una adecuada gestión involucra también la relación con los proveedores, lo cual puede significar una alianza estratégica traducida como ventaja competitiva frente a las demás empresas.

1.5.3.1. Clasificación de artículos

Existen diversos métodos para realizar la clasificación de los ítems. La más utilizada es la clasificación ABC desarrollado en la compañía General Electric en los años 50, es el esquema más popular de clasificación de inventarios. Este método se basa generalmente en el análisis de un solo parámetro que suele ser el costo de la demanda anual, sin embargo, utilizar un solo criterio de clasificación no suele representar la criticidad de un ítem (Lolli, Ishizaka, & Gamberini, 2014).

A partir de los años setenta, el análisis de decisiones en ambientes multicriterio ha sido un área muy estudiada. Entre los métodos que se aplica se tiene el Proceso analítico Jerárquico, Proceso analítico de red, análisis envolvente de datos, teoría de la utilidad multicriterio, teoría de los valores de atributos múltiples, entre otros (Arboleda & Castillo, 2016). En el presente estudio se describirá a más profundidad el Proceso analítico jerárquico (*AHP, Analytic hierarchecy process*), el cual será utilizado en el análisis de los datos para este estudio.

1.5.3.1.1. Proceso analítico jerárquico (AHP, Analytic hierarchy process)

El proceso analítico jerárquico fue desarrollado por Thomas Saaty para resolver situaciones en las cuales se presentaba diferentes alternativas y objetivos múltiples. Este proceso ha sido aplicado de manera exitosa en diferentes áreas ya que permite utilizar criterios cualitativos y cuantitativos (Guvenir & Erel, 1998).

Saaty (2008) sugiere tomar en cuenta los siguientes pasos para tomar una decisión de manera organizada:

- Establecer el objetivo con base en el cual se estructurará la jerarquía de decisión considerando los criterios a analizarse. La construcción de una estructura en la cual se representen los aspectos más relevantes en el proceso de resolución (objetivo, criterios, alternativas). En el marco de esta construcción inicial, se debe tener en cuenta los axiomas de reciprocidad, homogeneidad, jerarquías y sistemas de dependencia.
- Construir la matriz de comparación por pares, en la cual se incorporan las valoraciones en función de los gustos, preferencias y prioridades para quien realiza la evaluación.
- Definir la prioridad de cada alternativa
- Calcular los vectores de prioridad y consistencia.
- Analizar los resultados

En función de lo mencionado, Cordero *et al.* (2019) resume el proceso en el siguiente diagrama, presentado en la figura 2.

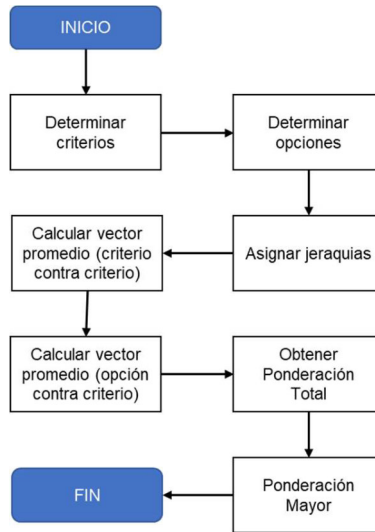


Figura 2 – Diagrama de flujo del modelo AHP

Las comparaciones entre los criterios y alternativas podrían tornarse ambiguas por lo cual se utiliza la escala definida por Saaty (1990). Esta escala de comparación se presenta en la tabla 3.

Tabla 3 – Escala de medida de importancia

Escala numérica	Escala verbal
1	Igual importancia
3	El elemento es moderadamente más importante respecto al otro
5	El elemento es fuertemente más importante respecto al otro
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro
9	La importancia del elemento es extrema respecto al otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes
Incrementos 0,1	Valores intermedios entre incrementos
Inversos $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{9}$	Se utiliza cuando el segundo elemento es mayor en el criterio a comparar

Medida de consistencia

La construcción de la matriz de pares y la asignación de las ponderaciones a cada criterio o alternativa debe validarse mediante el cálculo de la razón de consistencia. De tal manera que se evite caer en la utilización de matrices que presenten sesgo. Para definir la consistencia de la matriz, se dice que si la razón de consistencia (CR) es menor o igual a

0.1, la medida de consistencia es aceptable, caso contrario se debe revisar las estimaciones (Osorio & Orejuela, 2008).

Cálculo de la razón de consistencia (CR) como se presenta en la ecuación 10 cuyos dividendos se definen en las ecuaciones 11 y 12.

$$CR = \frac{CI}{IA} \quad (10)$$

Donde,

CR: Razón de consistencia

CI: índice de consistencia

IA: Índice aleatorio

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

Donde,

λ_{max} : máximo autovalor principal de la matriz

n: número de criterios en la matriz

$$IA = \frac{1.98 (n - 2)}{n} \quad (12)$$

Criterios de selección

Saaty (2008) menciona que se tienen diversos criterios que pueden servir para clasificar a los ítems por AHP entre los cuales se tienen los siguientes; sin embargo, se evaluará en función de las consideraciones de la empresa.

- Índice de rotación, expresa el número de veces que se han renovado las existencias durante un período.
- Tiempos de entrega, se valora en días, y se considera al tiempo desde que es recibida la orden de compra por parte del proveedor hasta que el producto ha llegado a las instalaciones de la compañía.
- Ventas realizadas valorada en unidades, cantidad de productos vendidos cada mes.
- Costo unitario de adquisición, valor en dólares que representa el valor de costo de compra de cada unidad de producto.

- Facilidades de pago, relacionado con las disposiciones de tiempo para las realizaciones de las transacciones financiera.
- Confiabilidad del proveedor, se relaciona con la capacidad que tienen los proveedores para responder a un pedido.

1.5.3.2. Costos relacionados con el inventario

Toda decisión que involucre a la gestión de inventarios afectara directamente a los costos de la empresa sea esta positiva o negativa. Para definir la política a utilizarse en la gestión de inventarios se debe considerar tres tipos de costos generales: costos de adquisición, costos de manejo y costos por falta de existencias.

1.5.3.2.1. Costos de adquisición

El costo de ordenar incluye todos los costos relacionado con colocar un pedido sin importar su tamaño. Estos costos relacionados pueden incluir el costo de manufactura (precio), costo de procesar un pedido por los distritos departamentos de contabilidad y compras, costo de transmitir la orden, costo de enviar el pedido al puesto de suministro (transporte sino está incluido en el precio), es decir hace referencia a todos los costos administrativos (Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

$$Csoto anaual de ordenamiento = \frac{D * A}{Q} \quad (13)$$

Donde,

D: demanda, en unidades

A: costo de realizar un pedido en \$/pedido

Q: cantidad de pedido en unidades

1.5.3.2.2. Costos de mantener inventario

Son los costos asociados con guardar o manejar el inventario; por tanto, se incluyen costos de obsolescencia, seguros, pagos de interés, personal, seguridad, servicios básicos, entre otros. Heizer & Render (2014) señala los siguientes rangos de costos asociados a mantener inventarios expuestos en la tabla 4.

Tabla 4 – Porcentaje en el inventario del valor de costos asociados a mantener inventario

Categoría	Porcentaje del valor del inventario (Rango)
Costos de edificio (renta o depreciación del edificio, costos de operación, impuestos, seguros)	3 – 10 %
Costo de manejo de materiales (renta o depreciación del equipo, energía, costo de operación)	1 – 3.5 %
Costo de mano de obra	3 – 5 %
Costo de inversión (costos de préstamos, impuestos y seguros del inventario)	6 – 24 %
Robo, daño y obsolescencia	2 – 5 %

Según datos del área financiera de la empresa se determinan los siguientes costos asociados en la empresa a analizarse:

Tasa de almacenamiento 10%

Tasa de retorno de capital 11.5%

Tasa de seguros de capital 0.05%

Tasa de transporte, manipulación y distribución 4.2%

Tasa de obsolescencia del material 3.5%

Con estos datos se fija el valor de la tasa de costo de mantenimiento por año en 29.25% para una empresa que opera en el sector petrolero.

El costo de mantenimiento de inventario se calcula con la siguiente formula:

$$\text{Costo anual de almacenamiento de inventario} = (\bar{I}_{prom}) * v * r \quad (14)$$

El inventario promedio viene calculado con la siguiente formula

$$\text{Inventario promedio } (\bar{I}_{prom}) = \left(\frac{Q}{2} + k + \sigma_L \right) \quad (15)$$

Por tanto, la fórmula para costo de mantenimiento será

$$\text{Costo anual de almacenamiento de inventario} = \left(\frac{Q}{2} + k + \sigma_L \right) * v * r \quad (16)$$

Donde,

\bar{I}_{prom} : inventario promedio

Q : cantidad de pedido en unidades

k : factor de seguridad

σ_L : desviación estándar de los errores de pronóstico de la demanda sobre el tiempo de reposición, en unidades

v : costo unitario en \$/unidad

r : tasa de costo de mantenimiento de inventario %/año

1.5.3.2.3. Costos por falta de existencias

Estos costos se dan cuando se tiene un pedido que no puede realizarse desde el inventario físico, el tipo de costo puede relacionarse a la pérdida de una venta o al retraso de esta si el cliente decide esperar (Ballou, 2004). La ecuación para el cálculo de este costo es la siguiente:

$$\text{Costo por inexistencia} = \left(\frac{D}{Q} * B_2 * v * \sigma_L * G_{u(k)} \right) \quad (17)$$

Donde,

B_2 : fracción especificada por costo de faltante

$G_{u(k)}$: función especial de la distribución normal unitaria $N(0,1)$

1.5.3.2.4. Costo total relevante

Estos tres costos definirán el costo total relevante anual

$$\begin{aligned} \text{Costo Total Anual} = & \text{Costo anual de ordenar} + \text{Costo por inexistencia} \\ & + \text{Costo anual de almacenamiento} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\text{Costo Total Anual} = \frac{D * A}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + k + \sigma_L \right) * v * r + \left(\frac{D}{Q} * B_2 * v * \sigma_L * G_{u(k)} \right) \quad (19)$$

1.5.4. Sistemas de control de inventarios considerando la incertidumbre en la cadena de suministro

Los sistemas de control de inventario deben gestionar la demanda del cliente, de tal forma que se pueda controlar los costos de inventario, costos de transporte, costos de pedido y los costos de almacenamiento. Las empresas deben predecir la demanda junto con la cantidad de bienes que serán comprados, garantizando el abastecimiento adecuado para satisfacer la demanda prevista y empujar los productos hacia el cliente.

Vidal (2010) menciona tres preguntas clave que deben ser consideradas para tener un control de inventarios adecuado, especialmente cuando se analiza la incertidumbre tanto de la demanda como del tiempo de entrega.

- ¿Con que frecuencia se debe revisar el nivel de inventario?
- ¿Cuándo debe ordenarse?
- ¿Qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?

En los casos en la cual está presente la incertidumbre, la frecuencia de revisión significa un costo alto el cual debe ser comparado con el costo de mantener inventario para responder a los imprevistos de demanda. El cuándo debe ordenarse debe ser analizada tomando en cuenta el costo de mantenimiento si se ordena anticipadamente y el nivel de servicio que busca la empresa brindar a los clientes. Finalmente, la cantidad de ordenarse está relacionada con el cuándo, y se analiza en función del costo total relevante (Heizer & Render, 2004).

En la industria petrolera dentro de los procesos de perforación, son utilizados productos químicos que se producen a gran escala cuyo *lead time* tarda en promedio tres meses, por tal motivo es crucial la planificación de la demanda; el riesgo que implica el desabastecimiento de dicho inventario es sumamente alto; la producción petrolera se verá paralizada, por tal motivo se incurrirán en costos por tiempos no productivos (NPT *non productive time*) a la organización, pérdida de *revenue* y participación en el mercado, por tal motivo.

El sistema de control de inventario debe ser elegido en función de las características en las cuales se desea analizar el inventario, sea esta de manera continua o periódica. Vidal

(2010), señala las siguientes características presentadas en la tabla 5, que permitirá definir el sistema en el cual se analizará el estudio.

Tabla 5 – Comparación entre los sistemas de revisión periódica y continua.

Revisión continua	Revisión Periódica
Es difícil coordinar diversos ítems en forma simultanea	Permite coordinar diversos ítems en forma simultánea
La carga laboral es poco predecible, se desconoce el momento de ordenar	Se puede predecir la carga labora con anticipación, se conoce el momento de ordenar
La revisión es más costosa especialmente para ítems de alto movimiento	La revisión es menos costosa ya que es menos frecuente
Para ítems de bajo movimiento el costo de revisión es muy bajo, pero el riesgo de información sobre perdidas y daños es mayor	Para ítems de bajo movimiento el costo de revisión es muy alto, pero existe menos riesgo de pérdida de información sobre perdidas y daños
Asumiendo un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema requiere un menor inventario de seguridad (protección sobre L)	Asumiendo un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema requiere un mayor inventario de seguridad (Protección sobre R+L)

Dentro de los modelos de control se encuentran definidos los siguientes sistemas de control de inventarios:

- **Sistema (s,Q)**, sistema continuo de control en el cual una vez que el inventario se encuentra en el punto de reorden “s” se coloca un pedido con una cantidad fija “Q”
- **Sistema (S,s)**, sistema de control continuo en el cual cuando el inventario cae al punto de reorden “s” o por debajo de este, se coloca un pedido tal que eleve el inventario hasta un valor máximo “S”
- **Sistema (R,S)**, es un sistema de control periódico en el cual cada “R” unidades de tiempo se revisa el inventario y se coloca un pedido tal que el inventario se eleve hasta un valor máximo “S”
- **Sistema (R,s,S)**, sistema de control periódico en el cual cada “R” unidades de tiempo se revisa el inventario, si este presenta un valor igual o menor a “s” se coloca un pedido cuyo valor eleve el inventario hasta un valor “S”. Si el valor de inventario en la revisión es mayor a “s”, no se coloca ningún pedido y se espera hasta la nueva revisión.

1.5.4.1. Inventario de seguridad

Según lo descrito por Chopra & Meindl (2008), el inventario de seguridad es aquel inventario mínimo destinado para cubrir la demanda y la variabilidad de la oferta durante un periodo dado. El inventario de seguridad debe ser considerado debido a las numerosas condiciones de incertidumbre que se tienen dentro de las operaciones de una empresa. Estas situaciones de incertidumbre se presentan en la demanda la cual no se conoce con certeza, al igual que el momento en el cual será requerida. El tiempo de entrega, así como el tiempo de producción están siempre sujetos a variaciones debido a problemas de calidad, fallas en las maquinarias, demora de las embarcaciones de transporte, entre otras (Spearman & Wallace, 2001).

La planificación de inventario permite establecer las fechas de pedido y las fechas de vencimiento para que el inventario se mantenga en el stock de seguridad o por encima de éste. Sin embargo, durante el tiempo de entrega, el pronóstico de ventas puede ser demasiado bajo o el proveedor podría estar retrasado por lo cual el safety stock protege de un posible desabastecimiento durante el tiempo de entrega o lead time. El stock de seguridad aumenta a medida que la demanda y las fechas de entrega se vuelven menos predecible.

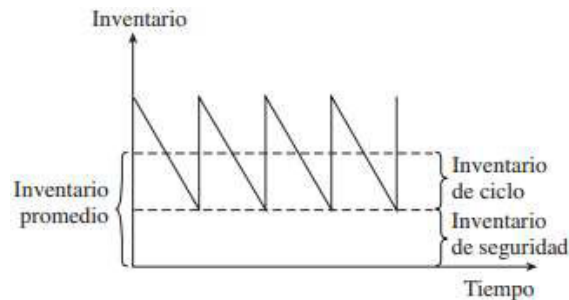


Figura 3 – Perfil de inventario con inventario de seguridad

En la figura 3 se observa el perfil que mantendría una empresa con inventario de seguridad, en la cual el inventario promedio es la suma del inventario de ciclo más el inventario de seguridad (Vidal, 2010). El objetivo de gerencia será mantener el equilibrio, ya que un inventario de seguridad permitirá aumentar la disponibilidad del producto para ventas a costa de incrementar el costo de mantenimiento dentro de los balances.

Chopra & Meindl (2008), señalan dos factores importantes a considerar para definir el nivel de inventario de seguridad

- Incertidumbre de la demanda, así como de la oferta
- Nivel deseado de disponibilidad del producto

Estos dos factores se ven reflejados en las fórmulas de cálculo para el inventario de seguridad. A continuación, se presenta el cálculo considerando la desviación estándar de errores de pronósticos

- Sistema continuo (s,Q)

$$\text{Inventario de seguridad } IS = k\bar{\sigma}_L = k\bar{\sigma}_1\sqrt{L} \quad (22)$$

- Sistema Periódico (R,S)

$$\text{Inventario de seguridad } IS = k\bar{\sigma}_{R+L} = k\bar{\sigma}_1\sqrt{R+L} \quad (23)$$

1.5.4.2. Sistema de control continuo (s,Q)

En el modelo (s,Q), se considera que la revisión de los niveles de inventario es continua. En la figura 4, se observa la variación del nivel de inventario entre cada reposición con respecto al tiempo para un modelo (s,Q) (Vidal, 2010). Para la implementación de este modelo los valores de s y Q vienen definidos con anterioridad en función del EOQ. El objetivo dentro del análisis de este modelo es emitir el pedido antes que el nivel de inventario se encuentre al nivel “s” para evitar faltantes durante el tiempo de reposición.

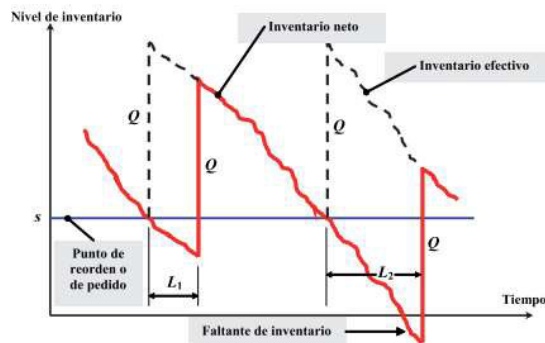


Figura 4 – Control de inventario (s,Q)

1.5.4.2.1. Determinación del punto de reorden

La siguiente formula es la más usada para el cálculo del punto de reorden

$$ROP = D * L + k * \bar{\sigma}_L \quad (24)$$

Donde,

ROP : punto de reorden

D : demanda, en unidades

L : lead time, o tiempo de reposición, en meses/años

k : factor de seguridad

σ_L : desviación estándar de los errores de pronóstico de la demanda sobre el tiempo de reposición L , en unidades

1.5.4.2.2. Reglas de Decisión del sistema (s,Q)

- **Reglas de decisión para un nivel de servicio P_2 especificado.** Se calcula en función del número esperado de unidades faltantes por cada ciclo de reposición

$$EUFCR = \sigma_L * G_{u(k)} \quad (25)$$

En esta expresión se debe diferenciar los siguientes escenarios: Faltantes convertidos totalmente en ordenes pendientes.

$$G_{u(k)} = \frac{Q}{\sigma_L} (1 - P_2) \quad (26)$$

Y Faltantes convertidos en ventas perdidas.

$$G_{u(k)} = \frac{Q}{\sigma_L} \left(\frac{1 - P_2}{P_2} \right) \quad (27)$$

- **Regla de decisión para una fracción especificada P_1 de no-ocurrencia de faltantes por ciclo de reposición.** Se sigue la siguiente formula

$$p_{2(k)} = 1 - P_1 \quad (28)$$

1.5.4.3. Sistema de Control Periódico (R,S)

La figura 5, representa el sistema de control periódico, en el cual el inventario es revisado cada "R" unidades de tiempo, en este momento se coloca un pedido que eleve el inventario hasta un valor definido S. El intervalo de revisión R debe ser definido con anterioridad en función del EOQ (Vidal, 2010).

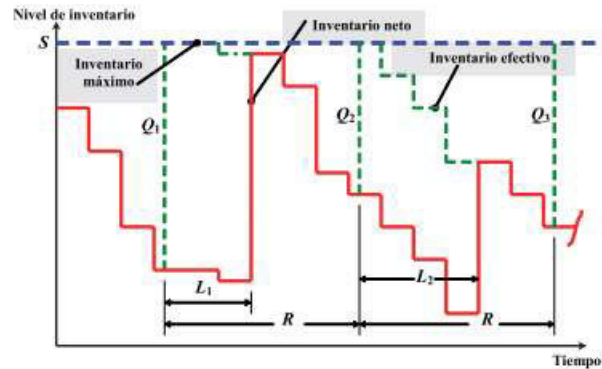


Figura 5 – Control de inventario (R,S)

Silver *et al.* (2017), sugiere la utilización de las mismas formulaciones para las reglas de decisión que en el sistema (s,Q), debido a la similitud entre los dos sistemas.

<u>Sistema (s, Q)</u>	<u>Sistema (R, S)</u>
s	S
Q	DR
L	R + L

La más clara observación que se debe tener en cuenta es que el inventario de seguridad debe estar considerado para un periodo de tiempo que cubra los tiempos de reposición y el intervalo de revisión (R+L). De esta forma las ecuaciones utilizadas en el sistema de control continuo son válidas para este sistema, considerando solamente un cambio en la notación que se describe a continuación de acuerdo con lo expuesto por Vidal (2010)

A: Costo fijo de ordenamiento incrementando en el costo de revisión del inventario, en S/pedido

R: Intervalo de revisión pre-especificado (o calculado con base en el EOQ) en unidades de tiempo

S: Nivel máximo de inventario hasta el cual se ordena, en unidades

\bar{D}_{R+L} : Demanda pronosticada sobre un intervalo de tiempo igual a R+L

σ_{R+L} : Desviación estándar estimada de los errores de pronósticos sobre un intervalo igual a R+L

1.5.4.4. Tiempo de reposición Aleatorio

Las ecuaciones se presentan de la siguiente forma al ser considerado la incertidumbre del tiempo de reposición, al sustituirse la desviación estándar de la demanda por la desviación estándar que considera tanto la variación de la demanda como el tiempo de reposición de los productos.

$$D_L = D * L \quad (29)$$

$$\sigma_w = \sqrt{L * \sigma_D^2 + D^2 * S_L^2} \quad (30)$$

Donde,

S_L : Desviación estándar estimada de los errores de pronósticos del tiempo de reposición

Todas las ecuaciones presentadas anteriormente son válidas al considerarse el tiempo de reposición aleatorio, teniendo en cuenta que se debe utilizar D*L en lugar de D, y σ_w en lugar de σ_L .

1.5.4.5. Control de ítems agrupados

Los sistemas de control analizados anteriormente (s,Q) y (R,S), son utilizados para ítems individuales. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta el control de ítems agrupados, el cual se realiza al considerar similitudes dentro de las características de los ítems, ya sea el modo de transporte, los proveedores, líneas de producción entre otras. Este tipo de control presenta tanto ventajas como desventajas, dentro de las cuales se puede mencionar el ahorro tanto en los precios unitarios de compras como en el costo total de ordenamiento y la facilidad de programación en cuanto a recepción, inspección, compras entre otros. Aspectos negativos que mencionar es el incremento en el nivel promedio de inventario, incremento en costos de control y reducción de la flexibilidad respecto a los niveles de servicios (Vidal, 2010).

1.5.4.6. Curvas de intercambio probabilísticas

Las curvas de intercambio para un conjunto de ítems son analizadas de acuerdo con Silver *et al.* (2017), con los siguientes criterios:

- Máximo costo total anual del inventario promedio.
- Máximo costo fijo total (o número total) de reposiciones por año.
- Máximo valor de faltantes por año.
- Máxima demora permitida de órdenes pendientes.

Se puede escribir las siguientes fórmulas para cada ítem i a analizarse:

$$\text{Inventario de seguridad, } SS = \sum_{i=1}^n k_i \sigma_{L_i} v_i \quad (31)$$

$$\text{Numero de veces que ocurran faltantes (NTEF)} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{Q_i} p_{z(k_i)} \quad (32)$$

Valor esperado total de unidades en faltantes por año

$$(VTEF) = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{Q_i} v_i \sigma_{L_i} G_{u(k_i)} \quad (33)$$

$$\text{Nivel de servicio } P_2 \text{ ponderado por demanda} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \left[1 - \frac{\sigma_{L_i} G_{u(k_i)}}{Q_i} \right]}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (34)$$

$$\text{Valor comun } k = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \sigma_{L_i} v_i}{\sum_{i=1}^n \sigma_{L_i} v_i} \quad (35)$$

1.5.4.7. Sistema periódico de reabastecimiento

El control de ítems agrupados se realiza mediante la aplicación de sistema R,S, definiendo en primer lugar el período de revisión común para todos los ítems al a vez se ordena una cantidad para cada ítem de acuerdo con el inventario máximo (Silver, Pyke, & Thomas, 2017). Para el cálculo de las variables de análisis necesaria se utilizan la siguientes formulas:

$$\text{Punto de reordenamiento } R = \sqrt{\frac{2(A + \sum_{i=1}^n a_i)}{r \sum_{i=1}^n D_i v_i}} \quad (36)$$

$$\text{Inventario máximo } S_i = d_i(R + L_i) + k_i \sigma_{R+L} \quad (37)$$

$$CTR = \frac{A + \sum_{i=1}^n a_i}{R} + r \left(\frac{R \sum_{i=1}^n D_i v_i}{2} + \sum_{i=1}^n k_i \sigma_{R+L} v_i \right) + \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n B_{2i} v_i \sigma_{R+L} G_u(k_i) \quad (38)$$

Donde:

A: costo de ordenamiento (\$/orden)

a_i : costo fijo de incluir cada ítem en una orden

r: costo de mantener el inventario (%/ unidad de tiempo)

D_i : demanda de cada ítem (unidad/año)

v_i : valor unitario de cada ítem (\$/unidad)

σ_{R+L} : desviación estándar en el tiempo de revisión mas el tiempo de reposición

$G_u(k_i)$: función especial de la distribución normal N (0,1)

B_{2i} : costo de faltante de cada ítem

2. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque del proyecto de investigación

El presente proyecto de investigación presentó un enfoque cuantitativo, el cual se basó en la medida y la cuantificación numérica de datos que se analizaron mediante herramientas estadísticas (Hernández, 2014). De acuerdo con Martínez, 2006, la obtención de datos se puede realizar a través de diversas fuentes como son documentos, libros, registros, información de sistema y objetos físicos. Para este proyecto procedió con la recolección de datos historias de los libros y sistemas de la empresa, de los cuales se obtuvieron datos relacionados con exigencias de materiales, costos, consumos y tiempos de entrega de los proveedores

2.2. Alcance de la investigación

Los estudios con alcance descriptivo, en el cual se enmarca la investigación que se llevó a cabo, tienen como función principal seleccionar la característica fundamental que incide en el caso de estudio y describirla de forma detallada (Bernal, 2010).

Para el caso de estudio propuesto en cuanto al aspecto descriptivo se recolectaron datos que muestren con claridad los acontecimientos que se han dado durante el manejo de inventarios en la empresa. Este grupo de datos tiene una importancia relevante en la resolución de los problemas asociados con la empresa y mediante su análisis se logró definir el manejo de inventario de la empresa con el fin de cumplir con el objetivo del estudio que es seleccionar el sistema de control de inventario adecuado.

2.3. Diseño de la investigación

Bernal, 2010, define al estudio de caso como un tipo de diseño de investigación en el cual se analiza una unidad específica de un universo poblacional, en este caso se analizó a una empresa que opera en el sector petrolero. Además de esta definición, dentro del estudio de caso el diseño fue no experimental longitudinal debido a que no se realizó una manipulación deliberada de las variables y estas fueron medidas en diferentes puntos a lo largo del tiempo para definir las incidencias de la evolución del problema. Lo que se realizó en este tipo de investigación no experimental fue observar y analizar el fenómeno en su estado natural, en situaciones ya existente a través del tiempo (Hernández, 2014).

Para el caso específico del proyecto de investigación presentado se analizó el impacto de la incertidumbre en la gestión de inventarios en una empresa que opera en el sector petrolero a través de los últimos cuatro años y con los resultados obtenidos de este análisis se planteó un sistema de control de ítems agrupados.

2.4. Selección de la muestra

El presente proyecto de investigación se enmarca en una investigación tipo estudio de caso, para el cual no se realizó un muestreo ya que el mismo caso se define como una unidad específica del universo poblacional (Hernández, 2014).

2.5. Recolección y análisis de datos

Martinez, 2010 sugiere la utilización de diferentes fuentes de información para la recolección de datos. Para el proyecto se utilizó los datos históricos en los libros y sistemas de la empresa. Esta información, fue recolectada en un periodo de cuatro años a partir del año 2016.

Para el análisis de los datos se realizaron tablas y gráficos dinámicos, los cuales facilitan la comprensión de los datos recolectados, así como también de los resultados obtenidos. Entre las herramientas que se utilizaron para el análisis están los modelos de series históricas de pronóstico de demanda que han sido contrastadas con la demanda real lo que nos permitió definir la situación real de la empresa en relación a la gestión de inventario. Para la etapa de clasificación de productos se procedió con la elaboración de base de datos para el análisis estadístico de cada producto, para este punto se utilizó el método o proceso analítico jerárquico.

Finalmente, para la definición del método de control de inventario se procedió con base en el costo total relevante, disponibilidad del producto y desempeño del proveedor. La herramienta estadística que se utilizó fueron las curvas de intercambio probabilístico.

2.6. Procedimiento

2.6.1. Revisión de la situación actual de la empresa

En este punto se realizará una revisión a la gestión de inventarios que se mantiene actualmente en la empresa con base en información histórica de la empresa. La información para revisar cuenta con datos de ingresos, costo de inventarios y la tendencia de las ventas, así como el mercado actual de la empresa. Se establecerá como periodo de tiempo del análisis desde marzo de 2016 a diciembre de 2019

2.6.2. Categorización de la demanda inventarios

Para definir los productos en los cuales se categorizará la demanda se utilizará el método analítico jerárquico tanto para proveedores como para productos.

2.6.2.1. Selección de proveedores mediante AHP

- Se desarrollará la estructura jerárquica para proveedores para lo cual se considerará tanto los proveedores nacionales como internacionales. Para ello se tendrá una estructura de tres niveles, el nivel cero se colocará la meta global del análisis, para esta etapa, la elección del proveedor. En el primer nivel, se colocará los criterios a analizarse, para este caso, tiempo de entrega, facilidades de pago, y calidad técnica. Finalmente, en el tercer nivel, se colocará las alternativas, como se observa en la figura 6

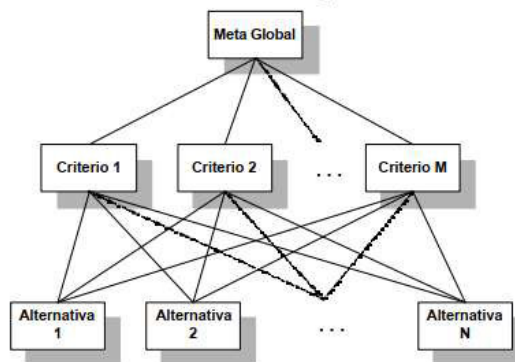


Figura 6 – Árbol de jerarquías

- Construcción de matrices de juicio de valor y matrices normalizadas. Se realizará las comparaciones pareadas de los criterios y alternativas, para este paso se contará con el soporte del equipo de planeación de recursos.

- Cálculos de los vectores de prioridad y consistencia. Una vez definida la matriz se procederá con los cálculos que definirán el orden de las alternativas
- Análisis de resultados, se seleccionará las alternativas con las puntuaciones más altas dentro del análisis de AHP

2.6.2.2. Selección de productos mediante AHP

Una vez seleccionados los proveedores, uno nacional y uno internacional, se procederá con la selección de los ítems de mayor importancia a analizarse. De manera similar al punto 2.6.2.1 se seguirá el procedimiento mediante el proceso AHP. Para este punto, los criterios analizados serán ventas anuales, costo unitario, índice de rotación y tiempo de entrega.

2.6.2.3. Categorización del patrón de demanda de los productos

Para la categorización de la demanda, se seleccionarán los productos obtenidos en el paso anterior 2.6.2.2. Se obtendrán los datos de demanda desde marzo de 2016 a diciembre de 2019. Con estos datos se evaluará el tipo de demanda de cada producto mediante el cálculo del coeficiente de variación para lo cual se determinarán los valores de la media y desviación estándar.

2.6.2.4. Selección del modelo de pronóstico

Para la selección de modelo de pronósticos se considerará como variable el error acumulativo evaluando las tres medidas: desviación absoluta media, error cuadrático medio y error porcentual absoluto medio de acuerdo con las fórmulas (3), (4) y (5). Los modelos de pronóstico que serán evaluados serán promedio móvil, ajuste exponencial simple y ajuste exponencial doble y se seleccionará aquel modelo cuyo valor en las tres medidas de error de pronóstico sea menor. Para los ajustes exponenciales se utilizará la herramienta solver de Excel para obtener los valores óptimos.

Una vez definido, los valores que se utilizarán para el sistema de control de inventario es el valor de desviación estándar de los errores de pronóstico y la demanda media mensual.

2.6.3. Análisis del sistema de control de inventarios para ítems agrupados

El análisis de sistema de control de inventarios se realizará considerando ítems agrupados, y se evaluará el costo total relevante de forma separada para ítems de compra local e ítems de compra internacional. Para ello se construirá la curva de intercambio Inventario de seguridad vs Número de veces que ocurran faltantes de acuerdo con los siguientes pasos:

- Se recopilará datos de cada ítem que fue seleccionado usando AHP, demanda media mensual, errores de pronóstico de demanda, tiempo de entrega, valor unitario, costo de ordenamiento para cada ítem y el nivel de servicio ($P1$). Los dos últimos datos son proporcionados por el área financiera y por el área de operaciones.
- De acuerdo con el nivel de servicio se determinará los valores de riesgo de agotar existencia ($Pu(k_i)$) y mediante el uso de las tablas de valores de distribución normal del anexo I, se obtendrá los valores de factor de seguridad $k(i)$ y el valor de $Gu(k)$
- Se calculará los valores de Inventario de seguridad (SS), número de veces que ocurran faltantes por año (NTEF) de acuerdo con las fórmulas (31) y (32). Con estos valores iniciales se calculará el punto actual de operación de la empresa.
- Se procederá a calcular el valor común del factor de seguridad k_i usando la fórmula (35). Se construye la curva de intercambio probabilístico variando el valor del factor de seguridad.
- Se seleccionará los puntos óptimos dentro de la curva de intercambio y se calculará el Costo Total Relevante para cada uno de los sistemas de control

2.6.4. Selección del sistema de control para ítems agrupados

Las curvas de intercambio probabilístico permitieron definir los puntos óptimos de la gestión de inventario y con ello calcular el costo total relevante. En función de este costo se procederá a seleccionar el sistema de control más económico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Situación actual de la gestión de inventarios de la empresa

La información de la situación actual de la empresa relacionada a gestión de inventario fue suministrada por el equipo de OPRM. Se observa la ausencia de una adecuada gestión de los inventarios, lo que ha llevado a la empresa a enfrentar situaciones como: retraso en la llegada de productos, desabastecimiento o en algunos casos exceso de inventario al comprar desmesuradamente por prevenir bajo stock. Como resultado de la deficiente planificación se ha incurrido en costos adicionales por transporte, almacenaje, disposición de producto obsoleto, pérdida de ingresos (revenue), disminución en la participación de mercado (market share).

Del análisis del proceso de planificación y entrega de productos en la empresa, se observa que la compra de inventarios se hace una vez al mes, no se considera el tiempo de entrega y manufactura de los productos internacionales, los nuevos requerimientos se hacen en base a demanda actual sin considera las variaciones históricas que han experimentado, y algunas veces se compra producto en exceso como inventario de seguridad asumiendo un 10% sobre lo planificado.

Los costos y gastos de una inadecuada planificación de la demanda e inventario en la empresa impactan en el estado de resultados, disminuyendo la rentabilidad de la organización, adicionalmente ocasionan perdida de participación de mercado y quejas por parte de los clientes.

Como se observa en la figura 7, se presenta la situación a partir de 2015 para la empresa, los ingresos han ido aumentando a través de los años al igual que los costos de inventario y transporte que son factores que pueden ser mejorados con una correcta gestión de inventarios. En promedio, los ingresos anuales han sido de 34 millones, con un porcentaje de costos de inventarios y transporte del 27%, lo cual representa 9.3 millones. Adicional, el cambio en la estructura empresarial a partir de 2019, genero un quiebre en la gestión de inventarios, como resultado a pesar del descenso en los ingresos el costo de inventario continúo incrementándose.

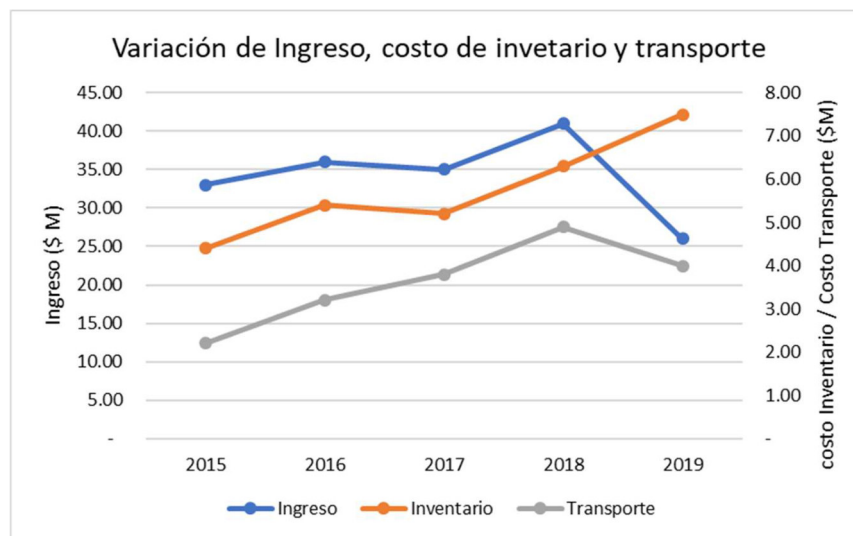


Figura 7 – Representación gráfica de la situación actual de la empresa

Adicional, a estos valores, para el final de 2019, se consideró como provisión \$ 300K, para dar de baja a productos obsoletos, los cuales fueron adquiridos sin considerar la variación que tenía en la demanda.

3.1.2. Categorización de la demanda

La empresa maneja alrededor de 70 ítems, de los cuales se definió en primera instancia los proveedores de mayor importancia haciendo una diferenciación entre los nacionales e internaciones. Cada uno de ellos ofrece determinados productos que serán usados por la empresa en sus diferentes trabajos.

3.1.2.1. Selección de proveedores mediante AHP

Los criterios de mayor relevancia para la selección de proveedores fueron el tiempo de entrega, facilidades de pago y volumen de compra. Estos criterios fueron cuantificados mediante una comparación pareada, usando la escala definida en la tabla 3, un detalle más extenso se encuentra en el Anexo II. A continuación, se detallan las evaluaciones realizadas para cada criterio.

Tiempo de entrega vs Facilidad de pago

En la tabla 6, se observa que el criterio más importante tanto para proveedores nacionales como internacionales es el tiempo de entrega. El tiempo de entrega en comparación con la facilidad de pago dada por los proveedores es fuertemente más importante en el caso de

proveedores nacionales. Para los proveedores internaciones la importancia de este criterio es incluso más fuerte frente a la facilidad de pago. Esta consideración de importancia se toma, debido a que en los diferentes clientes se mantiene una negociación de pago, que beneficia a la empresa. Por otro lado, un aumento en el tiempo de entrega podría ocasionar perdidas de trabajo o incluso aumento en el costo de transporte ya que se requeriría volar los productos.

Tiempo de entrega vs Volumen de compra

El tiempo de entrega continúa manteniendo una importancia dominante sobre el criterio volumen de compra tanto para proveedores nacionales como internacionales como se observa en la tabla 6. A pesar de que las cantidades requeridas mensualmente son altas y una falta de volumen de material podría ocasionar perdidas, estas pueden ser suplidas con productos alternos que cumplen las mismas funciones, pero con un rendimiento más bajo. Por el contrario, una demora que incremente el tiempo de entrega de un solo contenedor podría ser nocivo para la empresa.

Facilidad de pago vs Volumen de compra

Para los proveedores nacionales, la facilidad de pago es moderadamente más importante que el volumen de compra. Los proveedores nacionales tienen como termino de pago a 30 días, lo cual a pesar de ser manejable por la empresa cobra importancia al comparar con el volumen de compra ya que las compras nacionales no se realizan en altos volúmenes y son más asequibles. Por el contrario, en el caso de comprar internacionales, al ser los proveedores parte de la compañía, los términos de pago están normados como internos de la empresa y se realizan mediante transferencias internas. Por tanto, la facilidad de pago es de menor importancia al compararlo con el volumen de compra. En este caso el volumen de compra toma una importancia moderadamente más alta respecto a la facilidad de pago.

Un resumen del análisis realizado con cada uno de los criterios tanto para proveedores nacionales como internacionales se observa en la tabla 6. Para validar que los juicios emitidos no tengan contradicciones se calculó la razón de consistencia (CR) para el caso de proveedores nacionales fue de 0.07 y para proveedores internacionales 0.06, valores menores a 0.1 lo cual indica que los juicios se encuentran correctos.

Tabla 6 – Matriz de comparación de criterios proveedores nacionales e internacionales

P. NACIONALES	LT	FP	VC	Vector de Prioridad
Tiempo de entrega	1.00	5.00	6.00	0.707
Facilidad de pago	0.20	1.00	3.00	0.201
Volumen de compra	0.17	0.33	1.00	0.092
			CR	0.073

P. INTERNACIONALES	LT	FP	VC	Vector de Prioridad
Tiempo de entrega	1.00	7.00	5.00	0.792
Facilidad de pago	0.14	1.00	0.33	0.099
Volumen de compra	0.20	3.00	1.00	0.243
			CR	0.063

Realizado el análisis de los criterios, se procede a realizar la comparación de pares para las alternativas en función de cada uno de los criterios.

3.1.2.1.1. Selección proveedor nacional

Se inicio el análisis con los proveedores nacionales, en los cuales se tiene proveedor 1 (P1), proveedor 2 (P2) y proveedor 3 (P3). Los productos que se adquieren de estos proveedores son densificantes, material para sello y solventes.

Tiempo de entrega

Las alternativas para proveedores nacionales se comparan considerando el criterio de tiempo de entrega entre cada uno de ellos. En el análisis de este criterio de acuerdo con el vector de prioridad obtenido, es el proveedor 1. El tiempo de entrega para este proveedor es en extremo más importante que en los demás proveedores debido a que un incremento podría comprometer las operaciones de perforación lo cual podría conducir a un tiempo no productivo (NPT) traducido en sanción para la empresa. Los tres proveedores tienen tiempos similares de entrega entre 5 y 6 días una vez colocado la orden de compra. Para el caso específico del P1 tiene un tiempo de entrega promedio de 6 días una vez realizado el pedido.

Facilidad de pago

Para el análisis del criterio facilidad de pago, se consideró con ayuda del departamento de procura la relación comercial, créditos y la forma de pago. En este caso fue preponderante

considerar la forma de pago y los créditos, ya que la relación que se maneja en con los tres proveedores suele ser similar. En este contexto, es para el proveedor 1 que se debe considerar como un criterio importante al compararlo con los demás. Para el proveedor 1 la forma de pago es a 30 días, siendo que los demás proveedores son de 60 días.

Volumen de compra.

Al comparar este criterio con cada uno de los proveedores se obtiene como resultado que para el proveedor 1 el volumen de compra es un punto extremadamente importante. Mensualmente se compran en promedio 18,000 sacos de densificante, 3,000 sacos de material para sello. Una falta en el abastecimiento de estos materiales en las cantidades señaladas podría generar tiempos no productivos para la empresa.

En la tabla 7, se observa el resultado del análisis realizado, para un mayor detalle referir al anexo II. De las comparaciones realizadas se obtiene como conclusión que los productos adquiridos del proveedor q son lo que deben ser analizados, debido a que tiene una mayor importancia respecto a los demás.

Tabla 7 – Selección de proveedor nacional

P. Naciona l	Tiempo de entrega	Facilidad de pago	Volumen de compra	Vector de prioridad de criterios	Vector de prioridad de alternativas
P1	0.665	0.589	0.723	0.707	0.655
P2	0.104	0.159	0.061	0.201	0.111
P3	0.231	0.252	0.216	0.092	0.234

3.1.2.1.2. Selección proveedor internacional

Los proveedores internaciones a los cuales se realizará la comparación entre pares son tres, proveedor 4 (P6), proveedor 5 (P5) y proveedor 6 (P6). Los productos que se obtienen de estos proveedores son lubricantes, viscosificantes, estabilizadores de lutita, material de perdida de circulación, surfactantes, dispersantes, antiespumantes, inhibidores de arcilla, reductores de filtrado.

Tiempo de entrega

El criterio tiempo de entrega toma gran importancia para los proveedores internaciones, debido que un retraso en la embarcación del producto podría significar semanas para el

arribo del producto. El proveedor P4 y P5, se encuentran ubicados en Estados Unidos, mientras que el proveedor 6 está ubicado en Europa. El tiempo de entrega varía en función del producto ya que debido a su alto costo de maquila solo se prepara bajo orden de compra. Para el proveedor P4 y P5, el tiempo de entrega varía entre 1 a 2 meses, mientras que para el proveedor P6 oscila en los 3 meses. Por tanto, es para el proveedor 6 que este criterio tiene una importancia más fuerte.

Facilidades de pago

En el análisis del criterio facilidades de pago, fue el proveedor P5 el que tuvo mayor relevancia respecto a los otros dos proveedores. Tanto para el proveedor P4 como el proveedor P6, las compras son considerados internas de la compañía, cada uno tiene sus formas y términos de paso; sin embargo, el proceso de transferencia de capital es interno y por tanto más sencillo. Por el contrario, el proveedor P5 es una empresa externa, cuyos términos de pago, aunque no son perjudiciales para la empresa tienen ciertas restricciones que no se observan con los otros proveedores.

Volumen de compra

En cuanto al criterio volumen de compra es el proveedor P5, el cual tienen una importancia más relevante respecto a los otros proveedores. Del proveedor P5 se adquieren alrededor de 100,000 unidades mensuales de productos para tratamiento químico en etapa de producción. Por otro lado, los proveedores P4 y P6 respectivamente abastecen de 30,000 y 42,000 unidades mensuales respectivamente. El mayor volumen de acuerdo con esta referencia es adquirido del proveedor P5.

El resumen que se presenta en la tabla 8 al considerar el peso del vector de prioridad de criterios da como resultado, que el proveedor con mayor relevancia es el proveedor P6 y son los productos de este proveedor lo que serán analizados posteriormente. Un análisis detallado de cada criterio se presenta en el anexo II.

Tabla 8 – Selección de proveedor internacional

P. Internacional	Tiempo de entrega	Facilidad de pago	Volumen de compra	Vector de prioridad de criterios	Vector de prioridad de alternativas
P4	0.193	0.106	0.083	0.779	0.181
P5	0.083	0.633	0.724	0.099	0.301
P6	0.724	0.260	0.193	0.240	0.636

3.1.2.2. Selección de productos mediante AHP

En los puntos anteriores se definió como proveedores de alta relevancia para el estudio al proveedor P1, nacional, y al proveedor P6 internacional. El proveedor P1, suministra a la empresa la siguiente gama de productos: densificante y material de sello (3 tipos), por lo tanto, estos productos no serán clasificados sino analizados en su totalidad ya que constituyen cuatro productos importantes. En la tabla 9, se observa los productos para proveedor P1.

Tabla 9 – Productos nacionales para análisis de proveedor P1

Función	Producto	Código
Densificante	Baritina	BAR
Material de sello	Carbonato de calcio	B-001
		B-002
		B-003

Para el caso de los productos internacionales suministrados por el proveedor P6 (22 ítems), estos son analizados bajo los criterios de ventas anuales, costo unitario, inventario promedio y tiempo de entrega. Para definir el vector de prioridad de los criterios se realizó el análisis por pares.

Ventas anuales vs Costo Unitario

Para la empresa las ventas constituyen un criterio moderadamente más importante que el costo unitario de los productos, debido a que el margen de ganancia cuando se concreta una venta puede soportar un incremento en el costo de compra del producto.

Ventas anuales vs Rotación de inventario

De la experiencia de la empresa el criterio ventas anuales tienen una importancia levemente más alta frente a la rotación de inventario. La generación de ingresos como objetivo preponderante en la compañía ha dejado de lado variables importantes en la gestión de los inventarios como es la revisión de la rotación de inventario, manteniendo un amplio stock para poder cumplir con todas las ventas planeadas.

Ventas anuales vs Tiempo de entrega

Para la empresa un aspecto importante es el tiempo de entrega, el cual se revisa semanalmente para evitar retrasos en el abastecimiento de producto. Por tanto, el tiempo de entrega tienen una importancia más alta respecto a las ventas anuales. Como consigna de esta valoración, no se pueden realizar ventas si no se dispone del producto.

Costo Unitario vs Rotación de inventario

El criterio rotación de inventario es moderadamente más importante que el análisis del costo unitario. Los dos conceptos se encuentran relacionados, sin embargo, el concepto de rotación de inventario permite tener una visión más clara de la gestión de inventarios en la empresa, de ahí su mayor importancia.

Costo unitario vs Tiempo de entrega

El tiempo de entrega continúa siendo el criterio de análisis con mayor relevancia. Como se explicó anteriormente, para las compras internacionales el tiempo de entrega puede llegar hasta los tres meses y tomando en cuenta que el costo de un producto puede ser compensado en la empresa, es este criterio el que adquiere una importancia mayor.

Rotación de inventario vs Tiempo de entrega

El criterio de rotación de inventario es importante en el análisis de la gestión de inventarios, sin embargo, el tiempo de entrega tiene una mayor importancia, debido a que la demora en una importación podría ocasionar la pérdida de los trabajos asignados. Lo cual tendría un impacto mayor en los balances financieros en comparación con una baja rotación de inventario.

Un resumen de la comparación entre criterios se presenta en la tabla 10. Como resultado se observa que el criterio más importante a ser evaluado en cada producto es el tiempo de entrega, seguido por las ventas anuales. Como se mencionó en las comparaciones precedentes, la demora en el tiempo de entrega de una importación podría generar pérdida de trabajos por falta de productos generando una mala reputación ante el cliente y con ello una disminución en las ventas, incluso se puede llegar a penalizaciones debido a la falta de producto

Tabla 10 – Productos nacionales para análisis de proveedor P1

P. INTERNACIONALES	VA	CU	RI	LT	Vector de Prioridad
Ventas anuales	1.00	3.00	2.00	0.33	0.238
Costo unitario	0.33	1.00	0.33	0.20	0.078
Rotación de inventario	0.50	3.00	1.00	0.33	0.172
Tiempo de entrega	3.00	5.00	3.00	1.00	0.512
				<i>CR</i>	<i>0.035</i>

Definido el vector de prioridad de los criterios, se procede con la comparación de alternativas (productos) para cada una de las prioridades. Los productos (22) adquiridos del proveedor P6, se agruparon de acuerdo con su función en lubricantes, inhibidores, viscosificantes, estabilizadores y usados en la etapa de control, para cada uno de estos productos se determinó usando datos históricos el promedio de ventas anuales, el costo unitario promedio, el tiempo de entrega y el índice de rotación, los valores resumidos se observan en la tabla 11. El detalle de los valores para cada uno de los productos se encuentra en el ANEXO III.

Tabla 11 – Productos provistos por proveedor P6

Productos	Ventas anuales al costo	Costo unitario	Índice de rotación	Tiempo entrega
	\$	\$		meses
Control	2,256,940.32	1,302.48	2.81	3.73
Estabilizadores	1,455,295.49	650.99	5.32	2.67
Inhibidores	1,665,864.61	854.95	4.48	2.35
Lubricantes	1,540,801.39	468.53	2.99	2.67
Viscosificantes	2,422,226.95	100.02	4.61	3.17

Ventas anuales

Al analizar el criterio ventas anuales para cada uno de los grupos de productos se obtuvo como resultado que el grupo de productos viscosificantes tienen una relevancia mayor frente a los otros productos como se observa en la tabla 12. Este resultado se corrobora con el detalle de la tabla 11 en la cual se observa que las los viscosificantes tienen el mayor volumen de ventas, con una participación considerable para los productos de Control. Los productos Viscosificantes son usados ampliamente en la etapa de perforación con un

margen de utilidad de hasta el cincuenta por ciento, su alta importancia se debe a que son los aditivos que controlan la reología del fluido de perforación.

Costo Unitario

En el análisis del criterio costo unitario se consideró los valores de cada producto en cada grupo, así como las presentaciones. Para este criterio ha sido el grupo de productos para control los que han tenido mayor importancia. La mayor parte de estos productos son líquidos con presentación en tambores de ahí su costo unitario más alto. Es por ello que realizar importaciones para este grupo de productos es más costoso, y por tanto más relevante su análisis, un exceso en la compra de estos productos elevan el valor del inventario considerablemente y debido que su función es específica no puede ser retirado de inventario con facilidad.

Índice de Rotación

Para el criterio índice de rotación el grupo de productos más significativos son los estabilizadores. Estos productos son usados en la perforación para el control de la estabilidad de las paredes de pozo en zonas con presencia de lutita, por lo tanto, son usadas en regularmente, con una rotación cada dos meses del inventario por lo cual se debe revisar su abastecimiento ya que el tiempo de entrega es alrededor de 3 meses, una planificación deficiente podría ocasionar un desabastecimiento y por ende demora en las actividades de la empresa.

Tiempo de entrega

Uno de los criterios más importantes es el tiempo de entrega, como se ha mencionado, una demora de cualquiera de los productos puede ocasionar sanciones, pérdidas de trabajos, paro de actividades y, por tanto, disminución de ingresos para la empresa. Con estas consideraciones, se tuvo como resultado que son los productos de Control, aquellos que deben ser analizados con mayor rigurosidad respecto a este criterio, como se presenta en la tabla 12. Los productos de control son usados en la etapa más delicada del pozo, la etapa de producción, estos productos no pueden ser reemplazados por productos nacionales debido a las características de calidad que maneja la empresa. Un incremento en el tiempo de entrega ya sea por retraso en el arribo de importación, o por un mal manejo del inventario podría ser catastrófico para la empresa.

Un resumen de los valores obtenidos del análisis de cada uno de los criterios se observa en la tabla 12, obteniéndose como resultado que para la presente investigación se analizaran los productos de Control

Tabla 12 – Selección de grupo de productos internacionales

Producto	Ventas Anuales	Costo Unitario	Índice de Rotación	Tiempo de entrega	Vector de prioridad de alternativas
Control	0.267	0.460	0.096	0.388	0.315
Estabilizadores	0.062	0.164	0.393	0.149	0.171
Inhibidores	0.132	0.246	0.269	0.066	0.131
Lubricantes	0.090	0.091	0.056	0.097	0.088
Viscosificantes	0.449	0.038	0.186	0.300	0.295

Los productos que conforman el grupo de Control son los que se presentan en la tabla 13, se tienen cinco tipos de productos, cada uno con una función y características específicas.

Tabla 13 – Productos internacionales para análisis

Función	Producto	Codificación
Control	Biocida	CB
	Emulsificante	DC
	Reductor	FB
	Rompedor	SBK
	Enzima	WZ

3.1.2.3. Análisis de la demanda de productos seleccionados mediante AHP

Los productos seleccionados se encuentran descritos en la tabla 9 para productos nacionales a analizarse y en al tabal 13 para los productos de proveedor internacional. De esta manera una primera revisión visual se realizó en función de su tendencia acorde a los datos obtenidos históricamente. En la figura 8, se puede observar el comportamiento de la demanda histórica para los productos de compra nacional. En los últimos dos años se observa una disminución en la demanda de la mayor parte de estos productos, lo cual viene relacionado a la baja en las actividades de perforación. En 2016 que comprende los primeros datos, la perforación alcanzaba hasta 15 taladros en operación con una demanda de hasta 25 mil unidades en el caso de la baritina, el cual es el producto más representativo en la perforación, y disminuyendo a finales de 2019 e inicios de 2020 hasta una demanda

de 10 mil unidades. Menos de la mitad de la demanda que se había manejado, observándose una tendencia de decrecimiento. Para el caso de carbonatos, el comportamiento es de crecimiento en los dos primeros años seguida de una disminución en la demanda en el último año, igualmente afectada por un decrecimiento en el ámbito de la perforación de pozos horizontales en su mayoría.

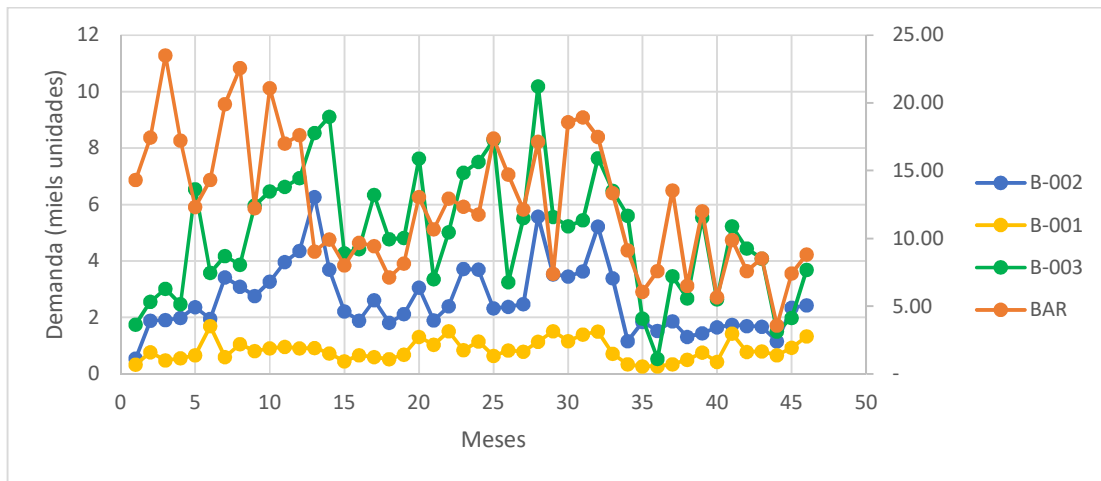


Figura 8 – Demanda a través del tiempo para productos nacionales

En la figura 10, se observa el comportamiento de la demanda de los productos de compra internacional. Los productos en análisis son mayormente usados en la etapa final de la perforación (completación) de los pozos y en los reacondicionamientos de estos. Como se puede observar la demanda de los productos se ha mantenido casi constante, incluso se puede decir que en los dos últimos años se ha observado un leve incremento. EL comportamiento se explica, debido a que el reacondicionamiento de un pozo viene programado para toda la vida productiva del mismo, en un promedio de una vez por año considerando que se tienen activos en Ecuador de acuerdo con la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2,400 pozos. De ahí que la demanda para estos productos internacionales usados en reacondicionamiento no se haya visto afectado de manera considerable

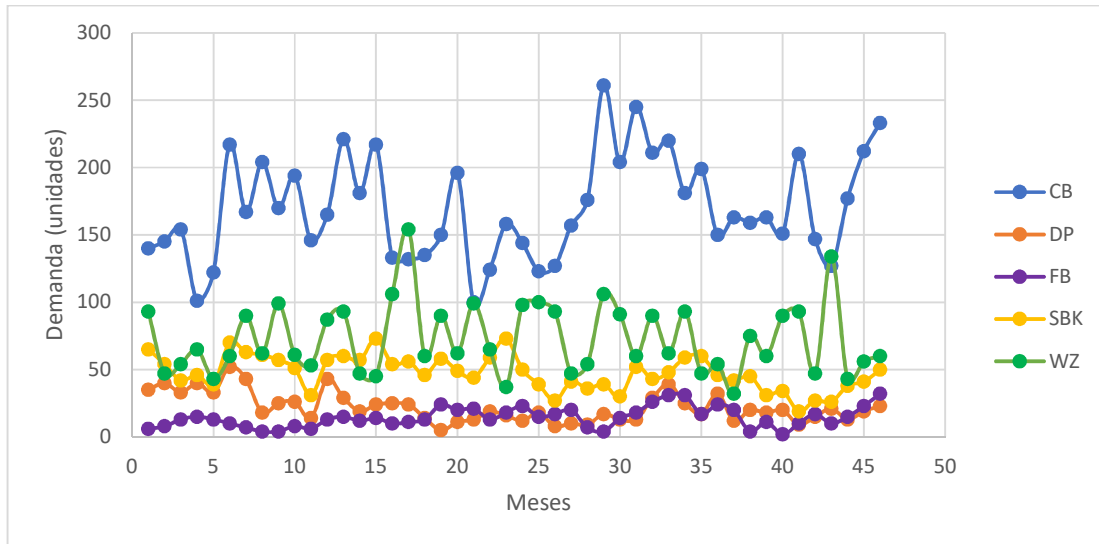


Figura 9 – Demanda a través del tiempo para productos internacionales

Para definir el tipo de demanda que se tiene para los productos en estudio de acuerdo con los datos históricos recopilados se calculó el coeficiente de variación, un resumen de estos resultados se presenta en la tabla 14. Para los materiales analizados tanto nacionales como internacionales, el coeficiente de variación es menor a 1, por lo tanto, el patrón de la demanda se considera estacionaria (no errática).

Tabla 14 – Cálculo de coeficiente de variación

Origen	Material	Descripción	Demanda media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Nacional	BAR	Baritina	13,068.32	6,352.29	0.49
	B-001	Carbonato de Calcio	826.61	368.63	0.45
	B-002		2,627.20	1,203.60	0.46
	B-003		5,089.00	2,171.02	0.43
Internacional	CB	Biocida	155.47	54.72	0.35
	DC	Emulsificante	22.07	11.13	0.50
	FB	Reductor	15.76	8.1	0.51
	SBK	Rompedor	47.66	13.14	0.28
	WZ	Enzima	89.67	62.04	0.69

De acuerdo con la tabla 1, para este tipo de demanda, estable, los sistemas de pronósticos recomendados son promedio móvil, ajuste exponencial simple o doble, dependiendo si se observa tendencia en los datos analizados. Adicional, como se presenta en la tabla 2, los ítems considerado de mayor importancia, se sugiere un análisis mediante el uso de ajuste exponencial simple o doble. Para los productos en análisis, se utilizará tanto el análisis

mediante ajuste exponencial como el análisis con media móvil para observar el efecto en el cálculo de los errores de pronóstico.

3.1.2.4. Selección del modelo de pronóstico

La selección del modelo de pronóstico se basó en analizar los resultados para la desviación absoluta media, error cuadrático medio y error porcentual absoluto medio y escoger la que presentaba los valores menores, para los cálculos realizados se utilizaron las ecuaciones (3), (4) y (5). Un resumen de los resultados obtenidos para productos nacionales se observa en la tabla 15.

Para cada uno de los productos de compra nacional el menor valor para los tres criterios de análisis se obtiene al utilizar un modelo de ajuste exponencial doble, los valores de Alpha y beta son los óptimos obtenidos mediante uso de la herramienta solver en el programa Excel. Como se había indicado anteriormente, el patrón de demanda que se observaba para estos productos presentaba una tendencia decreciente para el caso de la baritina (BAR) y una tendencia levemente creciente para los carbonatos (B-001, B-002, B-003), por ello que el mejor modelo que se acoplo a los datos de demanda es el ajuste exponencial doble.

Tabla 15 – Análisis de modelo de pronóstico para productos de compra nacional

			BAR	B-001	B-002	B-003
Promedio móvil	Periodo: 6	MAD	5,416.19	399.55	1,381.11	2,224.25
		MSE	51M	259k	2,621M	7,084M
		MAPE	105.79	71.43	67.77	83.78
	Periodo: 7	MAD	4,877.48	312.07	974.52	1,837.14
		MSE	40M	163k	1,585M	4,681M
		MAPE	89.89	50.30	41.83	64.01
	Periodo: 8	MAD	4,957.53	309.47	999.04	1,859.93
		MSE	42M	160k	1,648M	4,834M
		MAPE	92.17	51.10	43.37	67.42
Ajuste Exponencial Simple	Alpha		0.27	0.57	0.74	0.41
	MAD		4,515.31	270.00	749.74	1,589.52
	MSE		35M	139k	1,102K	4,073K
	MAPE		72.10	36.08	29.46	51.84

Tabla 15a– Análisis de modelo de pronóstico para productos de compra nacional (continuación)

		BAR	B-001	B-002	B-003
Ajuste exponencial Doble	Alpha	0.19	0.29	0.38	0.35
	Beta	0.81	0.52	1.00	0.20
	MAD	4,466.62	267.71	735.39	1,587.31
	MSE	34M	136k	1,062k	4,104K
	MAPE	70.00	37.15	28.95	51.73

En la tabla 16, por otro lado, se observa los resultados obtenidos con los diferentes modelos analizados para los productos de compra internacional. El modelo de promedio móvil para este tipo de productos presenta los valores mal altos en cuanto al análisis del error de pronóstico para cada uno de los periodos sugeridos en la literatura. Para el caso del producto biocida (CB), los menores valores de error se presentan al usa el modelo de ajuste exponencial simple cuyo valor de Alpha optimo es 0.72. En el caso de los productos emulsificante (DP), reductor (FB) y rompedor (SBK), el modelo que mejor resultado presento fue el modelo de ajuste exponencial doble, lo cual concuerda con lo mencionado en la tabla 1, es decir estos tres ítems presentan una leve tendencia creciente en el último año. Para el producto enzima (WZ) el modelo cuyo valor de error es menor es el modelo de ajuste exponencial simple. Como se observó en la figura 9, tanto el biocida como la enzima no presentan una tendencia

Tabla 16 – Análisis de modelo de pronóstico para productos de compra nacional

		CB	DP	FB	SBK	WZ	
Promedio móvil	Periodo: 6	MAD	47.05	9.01	8.43	13.51	27.20
		MSE	3,556.60	132.01	105.08	257.44	2,585.09
		MAPE	43.31	62.75	120.32	36.48	65.45
	Periodo: 7	MAD	43.64	7.23	8.60	10.33	54.19
		MSE	2,779.53	91.91	107.68	156.81	5,967.99
		MAPE	37.26	48.89	128.59	27.05	58.96
	Periodo: 8	MAD	43.50	7.11	8.14	10.20	51.98
		MSE	2,749.30	85.23	102.65	154.50	6,160.92
		MAPE	37.92	48.46	125.77	27.26	58.01
Ajuste Exponencial Simple	Alpha	0.72	0.46	0.65	0.19	0.22	
	MAD	32.95	6.71	6.85	10.14	49.42	
	MSE	1,717.61	85.06	62.43	145.58	4,640.50	
	MAPE	28.44	39.26	78.91	25.48	58.40	

Tabla 16a – Análisis de modelo de pronóstico para productos de compra internacional (continuación)

		CB	DP	FB	SBK	WZ
Ajuste exponencial Doble	Alpha	0.39	0.28	0.36	0.34	0.19
	Beta	0.82	0.56	0.63	1.00	1.00
	MAD	33.31	6.37	6.73	9.31	49.60
	MSE	1,769.01	78.62	61.14	130.20	4,791.92
	MAPE	27.04	38.44	78.77	21.72	59.42

3.1.3. Análisis del sistema de control de inventarios para ítems agregados

En la tabla 17 se presentan las principales características de los ítems que van a ser analizados de manera conjunta, se realiza una diferenciación para aquellos de compra nacional y los de compra internacional.

Tabla 17 – Características de ítems de compra nacional e internacional

Ítem	Demanda	Desviación estándar	Tiempo de entrega	Costos de ordenamiento	Nivel de servicio	Valor unitario
	Unidad/mes	Unidad	mes	\$/orden		\$/unidad
	di	σ_i	Li	ai	P1	vi
BAR	13,068	1,861.10	0.23	15	0.98	12.98
B-001	827	123.27	0.23	15	0.90	8.13
B-002	2,627	352.98	0.23	15	0.94	8.13
B-003	5,089	616.78	0.23	15	0.96	8.09
CB	155	49.65	3.73	25	0.90	155.01
DC	22	10.12	3.73	25	0.97	1,215.50
FB	16	7.86	3.73	30	0.98	2,756.90
SBK	48	13.02	3.73	25	0.95	1,939.98
WZ	90	49.78	3.73	25	0.97	445.00

3.1.3.1. Control de ítems agregados nacionales

Con los valores presentados en la tabla 17 se calculó las variables de inventario de seguridad (SS), número de veces que ocurren faltantes por año (NTEF) y valor esperado total de unidades en faltantes por año (VTEF). Dado el valor de nivel de servicio P1, se determinó el valor de P(K) y utilizando las tablas del anexo I se obtuvo los valores de ki y

Gz(ki). Los resultados se presentan en la tabla 18 y 23 para ítems nacionales e internacionales respectivamente.

En la tabla 18, para ítems de compra nacional se observa un inventario de seguridad total por año de 64 mil dólares, con un número de ocasiones de faltantes por año de 0.88, el cual representa un valor total de faltantes por año de 2.7 mil dólares. El mayor impacto de faltantes viene dado por la baritina (BAR) cuyo valor representa el 70% del costo total, esto como resultado de la alta demanda del producto. Como referencia en cuanto a los productos nacionales, para la baritina se tiene registrado durante el tiempo de análisis, dos ocasiones que se perdieron las ventas debido a producto faltante, una en julio de 2016, cuando los niveles de requisición superaron la capacidad de almacenamiento, dante este periodo se incrementaron el número de taladros de perforación hasta 17, y el segundo desabastecimiento se observó en noviembre 2018. Para la parte de carbonatos (B-001, B-002, B-003) se tiene registrado en agosto de 2018 una falta de productos, situación que se debió al incremento en la perforación de pozos horizontales en los cuales se utiliza para densificar principalmente carbonatos de diferente granulometría. A pesar de que la historial muestra escasos casos de desabastecimiento, la realidad es que una deficiencia en la gestión de inventarios se ha visto reflejada en pedidos realizados a otros proveedores con precios más altos, solicitudes de entrega anticipada de un día para el siguiente, con estas acciones llamadas oportunas no se ha llegado a un desabastecimiento total, sin embargo, se incurren en gastos adicionales que no son contabilizados.

Tabla 18 – Indicadores para cada ítem y totales para la política de inventarios actual para productos de compra nacional

Ítem	Factor			Tamaño de pedido	Inventario de seguridad	No. esperado de ocasiones de faltante/Año	Valor esperado total de unidades en faltante por año
	P(ki)	ki	G(ki)	unidades	\$/año	unidades	\$
				Qi	SSi	NTEF	VTEF
BAR	0.02	2.0538	0.0073	1,204	49,613	0.22	1,925.38
B-001	0.10	1.2816	0.0473	383	1,284	0.22	102.52
B-002	0.06	1.5548	0.0258	682	4,462	0.23	285.54
B-003	0.04	1.7507	0.0161	952	8,735	0.21	430.79
TOTAL					64,094	0.88	2,744.23

Los valores presentados en la tabla 18, fueron calculados para la situación actual de la empresa, la cual hace referencia a un análisis de ítems individuales. Para realizar un control de ítems agregados se procedió con la normalización de valor de servicio, calculado con la ecuación (35) el valor común de k_i , dando como resultado 1.9412, con este valor utilizado para todos los ítems se tiene como resultados los valores de la tabla 19. Se mantiene el valor de inventario de seguridad, con una reducción en el número de ocasiones de faltantes del 34%, sin embargo, se observa un incremento del 8% en valor de faltantes, esto debido a que el nivel de servicio que se manejaba anteriormente para baritina era mayor al calculado y por tanto se consideraban valores menores de faltantes. Este valor de inventario de seguridad y número de ocasiones de faltantes constituyen uno de los puntos de la curva de intercambio probabilístico en la cual se obtienen los valores óptimos de trabajo.

Tabla 19 – Indicadores para control conjunto de ítems nacionales

Ítem	Nivel de servicio		Factor		Inventario de seguridad	No. esperado de ocasiones de faltante/Año	Valor esperado total de unidades en faltante por año
	P1	P(k_i)	k_i		\$/año	unidades	\$
					SSi	NTEF	VTEF
BAR	0.97	0.02612	1.9412		46,893	0.28	2,602.66
B-001	0.97	0.02612	1.9412		1,945	0.06	21.50
B-002	0.97	0.02612	1.9412		5,570	0.10	109.71
B-003	0.97	0.02612	1.9412		9,686	0.14	264.85
TOTAL					64,094	0.58	2,998.72

La curva de intercambio probabilístico se construye variando el valor de k_i , y calculando el inventario de seguridad y el número esperado de ocasiones de faltantes por año. Para los ítems de compra nacional se obtuvo la curva presentada en la figura 10. Como se observa, la situación actual de gestión de inventario de la empresa, representada en el punto 1, se sitúa fuera de la curva de intercambio, es decir fuera de las condiciones óptimas de gestión de inventario. La situación del punto 2 y punto 3, representan las condiciones óptimas de operación, siendo para el punto 2 mantener el nivel de inventario de seguridad y ajustar el valor del servicio, representada por NTEF, este punto constituye la situación analizada en la tabla 19. Por otro lado, el punto 3, representa una situación en la cual se mantiene el número de ocasiones de faltantes y disminuye el inventario de seguridad. Con los valores

definidos para cada caso se procedió con el cálculo del costo total relevante para cada punto.

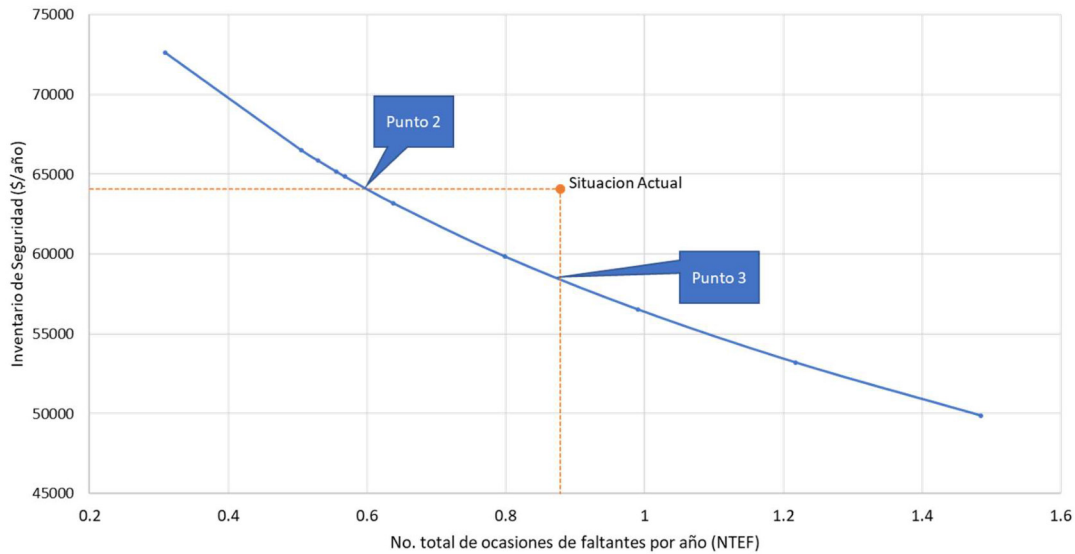


Figura 10 – Curva de intercambio del inventario de seguridad (SS) contra el No. Total de ocasiones de faltantes por año (NTEF)

Vidal, 2010, señala que el método más utilizado y con resultados efectivos para el control de ítems agregados es el sistema (R,S), en el cual se define el periodo de análisis para todos los ítems con base en el cual se realizara las revisiones. Se presentan en la tabla 20 los datos y el resultado obtenido para el punto de reordenamiento de ítems nacionales usando la ecuación (36)

Tabla 20 – Determinación del punto de reordenamiento ítems nacionales

Costo de ordenamiento	Costo de mantener inventario	R
\$/pedido	%/año	días
A	r	
30	25	5.7

Con este resultado de R, se define que la revisión de ítems agregados de compra nacional (4) para el proveedor 1 se debe realizar cada 6 días y colocar un pedido que alcance el nivel máximo S. Se calculo cada una de las variables implícitas en el costo total relevante

para los 3 puntos definidos en la curva de intercambio de la figura 10. Los datos obtenidos de inventario máximo se presentan en la tabla 21.

Tabla 21 – Valores de inventario máximo para cada punto de la curva de intercambio (ítems nacionales)

ítem	Inventario máximo		
	Unidades		
i	Situación actual	Punto 2	Punto 3
BAR	10,657	10,489	10,020
B-001	5,122	679	647
B-002	3,392	4,757	4,414
B-003	2,250	2,368	2,255

Con los datos de inventario máximo se procede al cálculo final del costo total relevante para cada punto de la curva de intercambio, el resumen de resultados se observa en la tabla 22 y un detalle de los cálculos se presenta en el anexo IV.

Tabla 22 – Costo total relevante para ítems nacionales

	Situación actual	Punto 2	Punto 3
Costo de ordenar	5,678.73	5,678.73	5,678.73
Costo de mantenimiento	122,910.32	129,669.10	119,626.59
Costo de faltantes	497.03	351.10	559.59
Total	129,086.08	135,698.93	125,864.90

El valor del costo total relevante es menor cuando en la curva de intercambio se mueve verticalmente, es decir, se mantiene el nivel de servicio de la situación actual y se disminuye el costo del inventario de seguridad total anual. Como se observa en la tabla 22 el mayor costo constituye el costo de mantenimiento con casi el 97% del total, disminuir este valor solo puede alcanzarse mediante la disminución del costo relacionado a inventario de seguridad, por esta razón, es que el valor del CTR en el punto 3 de la curva representa el menor valor, para alcanzar este punto en la curva, se mantuvo el nivel de servicio y se disminuyó el valor del inventario de seguridad. El nuevo valor de inventario de seguridad debe ser distribuido para cada uno de los productos en la proporción inicial.

3.1.3.2. Control de ítems agregados internacionales

En la tabla 23, se ha obtenido los resultados para el estado actual que se tienen en la empresa para la gestión d inventarios de manera individual en el cual se tiene un valor de inventario de seguridad de 160 mil dólares con una posibilidad de faltantes de al menos una vez por año lo cual representara 7 mil dólares de pérdidas en costo. El valor más alto dentro d ellos costos de faltantes corresponde al rompedor (SBK) con un valor de 47 % del total, seguidos por el biocida (CB) y enzima (WZ) con el 21% y 15% respectivamente. Del detalle manejado por la empresa se tiene registrados 4 ocasiones que se tuvieron faltantes durante el periodo analizado de 2016 a 2020, en septiembre de 2017 y 2018, marzo 2018 y febrero de 2019, los trabajos asignados se tuvieron que cancelar debido a la falta de productos los cuales no pudieron ser reemplazado con pares nacionales debido a que no pasaron los análisis de calidad. El ingreso asociado a estos trabajos perdidos ascendió a 20k cada uno, ya que no solo se pierde la venta del ítem sino la formulación completa que se da como servicio, a saberse, una formulación está compuesta por cada uno de los ítems analizados dentro del grupo de control, la falta de inventario de cada uno influye en el resto de los productos

Tabla 23 – Indicadores para cada ítem y totales para la política de inventarios actual para productos de compra internacional

Ítem	Factor			Tamaño de pedido	Inventario de seguridad	No. esperado de ocasiones de faltante/Año	Valor esperado total de unidades en faltante por año
	P(ki)	ki	G(ki)	unidades	\$/año	unidades	\$
				Qi	SSi	NTEF	VTEF
	CB	0.1	1.2815	0.04734	38	9,863.22	0.41
DC	0.03	1.8808	0.01162	7	23,135.46	0.10	477.12
FB	0.02	2.0537	0.00734	4	44,503.62	0.08	622.77
SBK	0.05	1.6449	0.02090	8	41,547.77	0.31	3,288.28
WZ	0.03	1.8808	0.01162	22	41,663.67	0.12	1,051.52
TOTAL					64,094	0.88	2,744.23

Para obtener los valore óptimos de una gestión conjunta de inventario se procedió a uniformizar el nivel de servicio, mediante el cálculo de un valor común de ki usando la

formula (35). Con este primer ajuste se obtuvo los resultados que se presentan de la tabla 24 en la cual se observa que para un nivel de servicio (P1) de 96% uniforme para todos los ítems, manteniendo el inventario de seguridad en 160 mil dólares se obtiene una mejora en el número de ocasiones de faltantes, disminuyendo en un 25%, respecto a un control individual. Por otro lado, el valor de faltantes mejora en un 15%, reduciendo el valor en mil dólares aproximadamente.

Tabla 24 – Indicadores para control ítems agregados internacionales

Ítem	Nivel de servicio		Factor		Inventario de seguridad	No. esperado de ocasiones de faltante/Año	Valor esperado total de unidades en faltante por año
	P1	P(ki)	Ki	\$/año			
				SSi	NTEF	VTEF	
SBK	0.96	0.03552	1.8052	45,597.00	0.22	2,216.91	
DC	0.96	0.03552	1.8052	22,205.65	0.12	578.55	
CB	0.96	0.03552	1.8052	13,893.35	0.15	442.96	
FB	0.96	0.03552	1.8052	39,117.58	0.14	1,194.93	
WZ	0.96	0.03552	1.8052	39,989.22	0.15	1,275.08	
TOTAL				160,713.73	0.77	5,708.44	

Sin embargo, esta condición de control de ítems agregados puede optimizarse usando las curvas de intercambio como se presentan en la figura 11. Como se observa, el punto 1, constituye el estado actual de la gestión de inventario, la cual se encuentra fuera la curva trabajo optima. Cuando se utiliza el control agregado de ítems la gestión de inventario se posiciona en el punto 2, dentro de la curva de intercambio. Otra posición que se debe considerar es el punto 3, en el cual se considera mantener el nivel de servicio actual con una disminución en el inventario de seguridad. Todos los puntos de la curva de intercambio se consideran puntos óptimos para el manejo conjunto de ítems, de acuerdo con esto se podría elegir de acuerdo con el estado de la empresa el mejor punto de operación. Sin embargo, para el caso de estudio se analizó el costo total relevante de los tres puntos presentados en la figura 11 y con ello determinar cuál será el mejor sistema de control

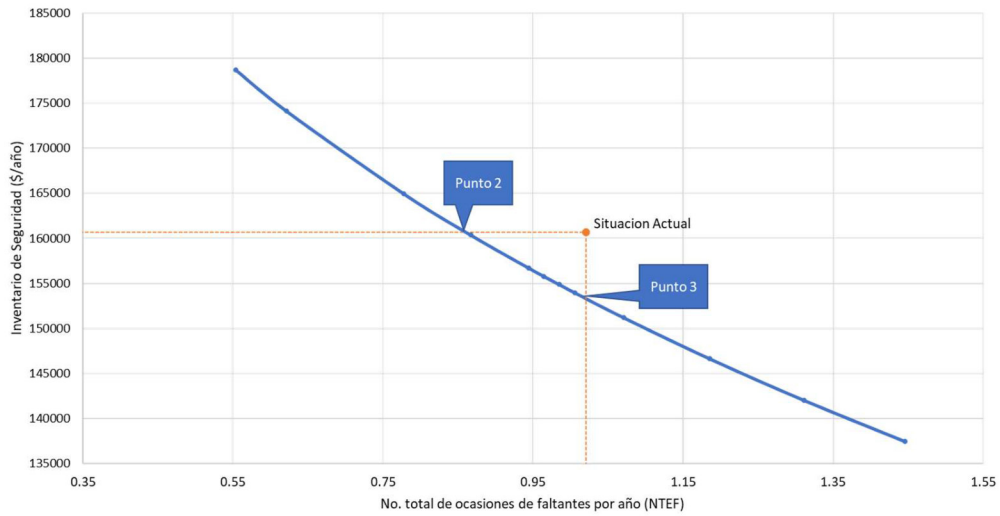


Figura 11 – Curva de intercambio del inventario de seguridad (SS) contra el No. Total de ocasiones de faltantes por año (NTEF)

Como se mencionó anteriormente el sistema de control que se analizó fue el sistema (R,S), para ello se realizó el cálculo del punto de reorden. Los datos de estimación de costo de ordenamiento para el conjunto de ítems fueron sugeridos por la empresa. El resultado del punto de reorden se presenta en la tabla 25.

Tabla 25 – Determinación del punto de reordenamiento ítems internacionales

Costo de ordenamiento	Costo de mantener inventario	R
\$/pedido	%/año	días
A	r	
50	25	8.7

Se obtiene como resultado que la revisión conjunta para ítems de compra internacional (5) se lo debe realizar cada 9 días, tiempo al cual se debe colocar el pedido que permita alcanzar nuevamente el nivel máximo de inventario (S). Actualmente la revisión, al igual que para ítems nacionales se los realiza cada 15 días, es decir dos veces por mes. En la tabla 26 se presentan para cada ítem el nivel máximo que se tendría en inventario y referente al cual se debe hacer la compra durante la revisión.

Tabla 26 – Valores de inventario máximo para cada punto de la curva de intercambio (ítems internacionales)

ítem i	Inventario máximo		
	Unidades		
	Situación actual	Punto 2	Punto 3
CB	865	716	710
DC	299	111	110
FB	89	79	78
SBK	200	217	216
WZ	517	509	497

El valor de inventario máximo más alto para cada uno de los ítems se maneja en la situación actual, observándose una disminución en el punto 2 y 3. Con estos datos y usando la fórmula (37) se procede con el cálculo del costo total relevante cuyos resultados se presenta en la tabla 27.

Tabla 27 – Costo total relevante para ítems internacionales

	Situación actual	Punto 2	Punto 3
Costo de ordenar	6,984.89	6,984.89	6,984.89
Costo de mantenimiento	281,380.07	216,661.41	203,002.63
Costo de faltantes	1,052.38	452.77	625.11
Total	289,417.34	224,099.07	210,612.63

El menor valor de costo total relevante se obtiene cuando se utiliza los valores del punto 3 dentro de la curva de intercambio. Con relación a la situación actual el costo total relevante disminuye en un 27% para el punto 3, y un 23% para el punto 2. Al igual que en los productos de compra nacional, es el costo de mantenimiento el que representa el mayor valor dentro del costo total relevante y dentro de este valor es el costo del inventario de seguridad el que encarece la gestión.

3.1.4. Selección del sistema de control de inventarios para ítems agregados

Una vez obtenidos los valores óptimos en las curvas de intercambio de las figuras 10 y 11, se calculó el costo total relevante como se presenta en las tablas 22 y 27 para ítems de

compra nacional e internacional respectivamente. El resultado de mejor sistema de control se presenta en la tabla 28.

Tabla 28 – Sistema de control de inventario seleccionado para ítems nacionales e internacionales

Ítems	Costo total relevante	Nivel de servicio	Punto de reorden	Inventario de seguridad
	\$	%	días	\$
Nacional	125,864.90	96%	6.00	58,495.74
Internacional	210,612.63	96%	9.00	153,421.87

En el análisis de productos nacionales, el menor costo total relevante se presenta en el punto 3 de la curva de intercambio, con un inventario de seguridad de 58 mil dólares y un nivel de servicio del 96%. El sistema que se ocupa es el sistema (R,S), con una revisión periódica cada 6 días. Se puede obtener una disminución considerable en el costo total relevante si se implementa un esquema de consignación de inventario por parte del proveedor, al ser nacionales es más fácil manejar este tipo de acuerdos.

Para el caso de productos internacionales, el menor costo total relevante se obtuvo utilizando los valores del punto 3 como se observa en la tabla 28. Para el cual el sistema de control de inventario viene definido como un sistema de control (R,S) con un nivel de servicio del 96% , una revisión periódica de los ítems cada 9 días, en el cual se tendría un inventario de seguridad de 153 mil dólares, con un costo total relevante de 210 mil dólares.

3.1.5. Análisis del impacto de la incertidumbre en la gestión de inventario

El impacto de un proceso se mide analizando la situación actual contra la situación una vez instaurado los nuevos procesos. Para el caso de estudio, analizar la incertidumbre en especial de la demanda nos ha llevado a obtener un sistema de control de inventario en el cual se obtendrá una disminución del 20% en cuando a su costo total relevante. Adicional, el entendimiento del efecto de la incertidumbre en cálculos relacionados con el inventario de seguridad, permiten calcular nuevos valores que deben ser utilizados y que no habían sido considerados ya que acostumbraba a tomar el valor de seguridad en función de lo que

consideraba trabajos ganados con una probabilidad del 75%, es decir con una probabilidad de pérdida de la operación baja.

3.2. Discusión

La empresa, líder en Ecuador y posicionada a nivel mundial presenta una deficiencia considerable en cuanto a la gestión de inventarios. Esta carencia no debida a falta de herramientas, ya que posee los programas de control más actualizados, sin embargo, la limitada noción de conocimiento en la manera de cómo se debe manejar un inventario ha sido el principal problema. Definiciones básicas como inventarios de seguridad, puntos de reorden, análisis de los costos que implican un costo total son los que deben reforzarse para obtener mejores resultados. Los programas más sofisticados sin son alimentados con información sin bases da como resultado datos sin sentido.

La clasificación correcta de los inventarios, no solo con un enfoque de ventas, deben ser priorizados acorde a sus diferentes características. Cada producto tiene un comportamiento diferente porque la demanda es diferente, las características del mercado son diferente, su nivel de utilización es diferente, entre otras cosas. Es por eso por lo que utilizar la herramienta de análisis analito jerárquico (AHP) es de vital importancia ya que nos permite un análisis de clasificación multivariable. La definición de los principales criterios y la agrupación de ítems de acuerdo con las similitudes con otros productos permite un manejo más flexible de la clasificación. Para los proveedores la separación en nacionales e internacionales fue necesaria debido a que presentan características diferentes en cuanto a su forma de trabajo a la vez que en cada grupo los productos analizados presentan sus diferentes características. Si se hubiesen analizado en conjunto, se puede decir que son los productos internacionales los de mayor relevancia debido al alto costo que implica su compra, así como a las altas ganancias que significa sus ventas. De esta clasificación realizada, en un principio se consideraba que eran los productos viscosificantes los que debían ser analizados debido a su alta demanda, sin embargo, el utilizar diferentes criterios permitió tener un mayor grado de entendimiento en cuanto a la importancia de cada ítem.

El análisis de los modelos de pronóstico nos lleva un paso más allá respecto a entender las variaciones que se ha visto a través del tiempo. Un análisis detallado nos permitió obtener valores de pronóstico de demanda cercano al consumo real, este análisis además da evidencia del efecto de la incertidumbre en los inventarios, en ninguno de los modelos

analizados se obtuvo una variación insignificante, por el contrario, el nivel de variación se considerable y obtener resultados que nos permitan proyectarnos de manera más efectiva reduce el riesgo que implica la incertidumbre en el manejo de los inventarios.

Para una correcta gestión de inventarios en la empresa se debe considerar varias características, una de ellas que mayor relevancia ha tenido es el tiempo de entrega de cada producto, algunos provienen de Europa, China, Houston, Rotterdam o países de la región como Perú y Colombia. Se debe planificar mínimos de compra, de tal forma que los pedidos puedan ser por contenedores, para optimización del transporte cuando el producto se importa. Para la compra de productos locales, se puede realizar una alianza estratégica con los proveedores, ellos pueden mantener un stock disponible para la organización en base al pronóstico de la demanda, el cual permanecerá en sus bodegas hasta ser requerido por la empresa, de esta manera los niveles de inventario son los óptimos y se disminuye el gasto por almacenaje el cual es el valor de mayor impacto en el costo total relevante.

El impacto que tienen la incertidumbre se observa al tomar en cuenta no solo valores planeados a futuro con base a licitaciones en curso, sino considerando la variación histórica de valores. Para el caso de estudio la incertidumbre de la demanda ha sido la de mayor importancia, se planteó también considerar la incertidumbre del tiempo de entrega, sin embargo, como se revisó en el análisis de resultados, el tiempo de entrega no ha supuesto más de 5 casos de demora a través del periodo a analizado desde enero 2015 a diciembre de 2019. Por otro lado, el efecto que causa dejar de lado la incertidumbre de la demanda de datos históricos ha llevado a la empresa a trabajar fuera de parámetros opimos, con valores de costos mucho más altos que los necesarios.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El escenario actual de la empresa la ubica en un setenta por ciento del mercado con un promedio de ingresos de 34 millones de los cuales el 27% son consumidos en costos relacionados con el manejo de inventarios tanto en transporte, mantenimiento, obsolescencia entre otras. Estas falencias de gestión hacen prever un incremento en los costos referentes a inventarios el cual ha tenido una tendencia creciente en los últimos 5 años, principalmente entre 2018 y 2019 el incremento de costos fue de 20%.
- El uso del proceso analítico jerárquico para toma de decisiones multicriterio permitió a la empresa definir los proveedores con mayor incidencia tanto en el ámbito nacional como internacional, siendo el principal criterio para la selección el tiempo de entrega con un 70% de prioridad sobre la facilidad de pago del 20% y el volumen de compra del 10%. De este análisis se concluyó que los proveedores más importantes serían el proveedor 1 (P1) para el caso de análisis nacional con una prioridad del 66%, y el proveedor 6 (P6) para las instancias internacionales con un porcentaje de prioridad del 64%.
- Para el análisis AHP realizado en la selección de ítems entre los 22 disponibles en el caso de proveedor internacional P6 se consideró los criterios de ventas anuales, costo unitario, inventario promedio y tiempo de entrega de las cuales la prioridad mayoritaria con un 51% fue del tiempo de entrega. Del análisis de estos cuatro criterios indicados anteriormente para cada grupo de ítems, la prioridad más alta fue para productos de fluido de control con un 32%.
- La demanda de los productos que ofrece una empresa que trabaja en el sector petrolero es variable, estacionaria (no errática) la cual se define del análisis de datos históricos con un resultado para el coeficiente de variación (menor a uno). Para productos nacionales como la Baritina y Carbonatos de calcio presentaron un coeficiente de variación de 0.49 y 0.45 respectivamente, la tendencia de la demanda es decreciente debido a la baja en actividades de perforación. Por otro lado, productos de compra internacional como biocidas su demanda presenta un coeficiente de variación del 0.35, los emulsificantes 0.50, reductores un 0.51, rompedores un 0.28 y enzimas un 0.69,

estacionarios con una tendencia constante debido a son productos usados mayormente como fluidos de control en la etapa de reacondicionamiento o completamiento la cual no se ha visto afectada.

- El análisis de ítems agrupados con curvas de intercambio probabilístico brinda una visión global de la situación de empresa y permitió identificar la situación actual de la empresa para los ítems nacionales con un costo total relevante de USD 129,086.08 y para los internacionales con un valor de USD 289,417.34, los cuales estaban situados fuera de la curva es decir no se tenía un manejo adecuado de los inventarios.
- Del análisis del costo total relevante, el cual engloba la variabilidad de la demanda y el tiempo de reposición, para el caso de ítems nacionales, de los tres puntos definidos en la curva de intercambio se determinó que la opción óptima es la obtenida en el punto 3 para lo cual se requiere una disminución el costo de inventario de seguridad a USD 58,495.74 manteniendo el nivel de servicio en 0.96 con un punto de reorden de 6 días lo cual implica un costo total relevante de USD 125,864.90, dentro de un sistema de inventario tipo (R,s). Para el caso de ítems internacionales la opción óptima es la obtenida en el punto 3 con una disminución el costo de inventario de seguridad a USD 153,421.87 manteniendo el nivel de servicio en 0.96 y un punto de reorden de 9 días lo cual implica un costo total relevante de USD 210,612.60, el sistema se enmarca de igual manera en un tipo (R, s).
- La incertidumbre en la gestión de inventarios es un factor predominante, debido a que la demanda no es una constante en el mercado, así también la incertidumbre en el tiempo de entrega puede generar inconvenientes en la correcta planificación de los trabajos. No considerar la incertidumbre significaría costos asociados a faltantes o a excesos en inventarios que afectarían el rendimiento de la empresa. Del estudio realizado al considerar la incertidumbre y realizar un análisis del control conjunto de ítems se obtuvo una disminución en el costo total relevante del 2% para ítems nacionales y 27% para ítems internacionales.

4.2. Recomendaciones

- La industria relacionada con la perforación y completación de pozos petroleros es una de las más activas y con mayor ingreso, por ende, se recomienda la revisión de la gestión de inventarios en cada una de las líneas de negocios, el presente trabajo se ha enfocado en los productos para perforación y completación, sin embargo, se puede ampliar el estudio hacia los productos de cementación y partes y piezas para registros eléctricos o levantamiento artificial. De igual manera una actualización del estudio debería realizarse una o dos veces al año de acuerdo con las nuevas tecnologías introducidas o a los productos que dejan de usarse.
- El sistema definido en la empresa para la clasificación de ítems de acuerdo con la clasificación ABC, resulta ser útil, sin embargo, el proceso analítico jerárquico provee una mejor interpretación y análisis de la clasificación de inventarios considerando variables cualitativas y cuantitativas permitiendo a expertos dar su calificación a cada criterio. Por esto se recomienda, realizar una revisión del proceso de manejo de inventarios para incluir el análisis AHP como un lineamiento para la clasificación.
- Del análisis actual en la empresa se observó que los análisis se realizan utilizando una demanda promedio, sin considerar las variaciones en los periodos de tiempo, lo cual viene dado por la incertidumbre. Un análisis más profundo de la incertidumbre en el tiempo de entrega generara valores más exactos, en el presente estudio, al tener pocos eventos (cinco) de faltantes debido al tiempo de entrega no se consideró la incertidumbre en esta variable, sin embargo, la extrapolación a otras líneas de negocios sería necesario su análisis más exhaustivo.
- Realizar auditorías internas que permitan la detección temprana de problemas en la gestión de inventarios, centrada en revisar productos con baja rotación, obsolescencia, o que registren retraso en la llegada de productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aktouf, O. (2001). *La metodología de las ciencias sociales y el enfoque cualitativo en las organizaciones*. Cali, Colombia: Artes Gráficas del Valle LTDA.
- Arboleda, J., & Castillo, J. (2016). Modelo integrado de clasificación ABC Multicriterio, aplicado en el área de picking de un centro de distribución de repuestos. *Colección Académica de Ciencias Estratégicas*, 3(2), 15-34.
- Babai, M. Z., Syntetos, A. A., Dallery, Y., & Kostantinos, N. (2009). Dynamic Re-order Point Inventory Control with Lead-Time Uncertainty: Analysis and Empirical Investigation. *International Journal of Production Research*, 47(9), 2461-2483.
- Babiloni, M., Cardós, M., Albarracín, J., & Palmer, M. (2007). Modelos de gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente. *XI Congreso de Ingeniería de Organización*, (págs. 1611-1620). Madrid.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro* (Quinta edición ed.). México D.F., México: Pearson educación.
- Ben Ammar, O., Dolgui, A., Hnaien, F., & Louly, M. (2013). Supply planning and inventory control under lead time uncertainty: A review. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9), 359-370.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Bogota, Colombia: Pearson Educación.
- Castro, C., Vélez, M., & Castro, J. (2011). Clasificación ABC Multicriterio: Tipos de criterios y efectos en la asignación de pesos. *ITECKNE*, 8(2), 163-170.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro* (Tercera edición ed.). México D.F., México: Pearson educación.
- Cordero, G., Guanín, J., & Luna, K. (2019). Aplicación de un proceso analítico jerárquico (AHP) para mejorar la gestión de inventarios en cadenas de abastecimientos. *Ecuadorian Science Journal*, 3(2), 25-32.
- Corres, G., Esteban, A., García, J., & Zárate, C. (2009). Análisis de series temporales. *Revista Ingeniería Industria*, 8(1), 21-33.
- Dolgui, A., Ben Ammar, O., Hnaien, F., & Louly, M. (2013). A state of the art on supply planning and inventory control under lead time uncertainty. *Studies in Informatics and Control*, 22(3), 255-268.

- Gertler, P., Martínez, S., Premad, P., Rawling, L., & Vermeersch, C. (2017). *La evaluación de impacto en la práctica* (Segunda Edición ed.). Washington: Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo.
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. (2008). Modelos de gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento: Revisión de la literatura. *Revista Facultad de ingeniería Universidad Antioquia*, 43, 134-149.
- Güvenir, A., & Erel, E. (1998). Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 105, 29-37.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principio de administración de operaciones* (Quinta edición ed.). México D.F., México: Pearson Educación.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición ed.). México DF: McGraw Hill.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2001). *Factory Physics: foundations of manufacturing management* (Second edition ed.). New York, EEUU: McGraw-Hill.
- Khandker, S., Koolwal, G., Samad, & Hussain. (2010). *Handbook on Impact Evaluation. Quantitative methods and Practices*. Washington D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development.
- Lolli, F., Ishizaka, A., & Gamberini, R. (2014). New AHP-based approaches for Multi-Criteria Inventory Classification. *International Journal of Production Economics*, 156, 62-74.
- Martínez, P. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*(20), 165-193.
- Narváez, J. P. (2018). *Analizar y comparar la gestión de inventarios de materia prima clásica, versus el modelo (S,Q), con demanda y nivel de servicio definido, para la industria metalmecánica. Caso "Metalmecánicos del Ecuador"*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Osorio, J., & Orejuela, J. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica Año XIV*, 247-252.
- Parada, O. (2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Cuadernos de Administración*, 22(38), 169-187.
- Petroamazonas. (4 de Julio de 2020). *Noticias: Petroamazonas EP*. Obtenido de Petroamazonas EP Web Site: <http://www.petroamazonas.gob.ec>

- Petrovic, R., & Petrovic, D. (2001). Multicriteria ranking of inventory replenishment policies in the presence of uncertainty in customer demand. *International Journal of Production economics*, 71, 439-446.
- Rodríguez, R., Gámez, A., Marín, L., & Fandino, S. (2005). *Estadística Industrial*. Cádiz, España: Universidad de Cádiz.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Salas, J., Leyva, M., & Calenzani, A. (2014). Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial. *Industrial Data*, 17(2), 112-119.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains* (Fourth ed.). Florida, EEUU: CRC Press.
- Spearman, M., & Wallace, H. (2001). *Factory Physics*. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Valencia, M., Díaz, F., & Correa, J. (2015). Planeación de inventarios con demanda dinámica. Una revisión del estado del arte. *DYNA*, 82(190), 182-191.
- Vidal, C. J. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Santiago de Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.

ANEXOS

Anexo I – Valores de las funciones de distribución Normal para valores de k entre 0.00 y 1.99

k	$f_u(k)$	$p_u(k)$	$G_u(k)$	k
0,00	0,398942	0,500000	0,398942	0,00
0,01	0,398922	0,496011	0,393962	0,01
0,02	0,398862	0,492022	0,389022	0,02
0,03	0,398763	0,488033	0,384122	0,03
0,04	0,398623	0,484047	0,379261	0,04
0,05	0,398444	0,480061	0,374441	0,05
0,06	0,398225	0,476078	0,369660	0,06
0,07	0,397966	0,472097	0,364919	0,07
0,08	0,397668	0,468119	0,360218	0,08
0,09	0,397330	0,464144	0,355557	0,09
0,10	0,396953	0,460172	0,350935	0,10
0,11	0,396536	0,456205	0,346353	0,11
0,12	0,396080	0,452242	0,341811	0,12
0,13	0,395585	0,448283	0,337309	0,13
0,14	0,395052	0,444330	0,332846	0,14
0,15	0,394479	0,440382	0,328422	0,15
0,16	0,393868	0,436441	0,324038	0,16
0,17	0,393219	0,432505	0,319693	0,17
0,18	0,392531	0,428576	0,315388	0,18
0,19	0,391806	0,424655	0,311122	0,19
0,20	0,391043	0,420740	0,306895	0,20
0,21	0,390242	0,416834	0,302707	0,21
0,22	0,389404	0,412936	0,298558	0,22
0,23	0,388529	0,409046	0,294448	0,23
0,24	0,387617	0,405165	0,290377	0,24
0,25	0,386668	0,401294	0,286345	0,25
0,26	0,385683	0,397432	0,282351	0,26
0,27	0,384663	0,393580	0,278396	0,27
0,28	0,383606	0,389739	0,274479	0,28
0,29	0,382515	0,385908	0,270601	0,29
0,30	0,381388	0,382089	0,266761	0,30
0,31	0,380226	0,378281	0,262959	0,31
0,32	0,379031	0,374484	0,259196	0,32
0,33	0,377801	0,370700	0,255470	0,33
0,34	0,376537	0,366928	0,251782	0,34
0,35	0,375240	0,363169	0,248131	0,35
0,36	0,373911	0,359424	0,244518	0,36
0,37	0,372548	0,355691	0,240943	0,37
0,38	0,371154	0,351973	0,237404	0,38
0,39	0,369728	0,348268	0,233903	0,39
0,40	0,368270	0,344578	0,230439	0,40
0,41	0,366782	0,340903	0,227011	0,41
0,42	0,365263	0,337243	0,223621	0,42
0,43	0,363714	0,333598	0,220267	0,43
0,44	0,362135	0,329969	0,216949	0,44
0,45	0,360527	0,326355	0,213667	0,45
0,46	0,358890	0,322758	0,210422	0,46
0,47	0,357225	0,319178	0,207212	0,47
0,48	0,355533	0,315614	0,204038	0,48
0,49	0,353812	0,312067	0,200900	0,49

k	$f_u(k)$	$p_u(k)$	$G_u(k)$	k
0,50	0,352065	0,308538	0,197797	0,50
0,51	0,350292	0,305026	0,194729	0,51
0,52	0,348493	0,301532	0,191696	0,52
0,53	0,346668	0,298056	0,188698	0,53
0,54	0,344818	0,294598	0,185735	0,54
0,55	0,342944	0,291160	0,182806	0,55
0,56	0,341046	0,287740	0,179912	0,56
0,57	0,339124	0,284339	0,177051	0,57
0,58	0,337180	0,280957	0,174225	0,58
0,59	0,335213	0,277595	0,171432	0,59
0,60	0,333225	0,274253	0,168673	0,60
0,61	0,331215	0,270931	0,165947	0,61
0,62	0,329184	0,267629	0,163254	0,62
0,63	0,327133	0,264347	0,160594	0,63
0,64	0,325062	0,261086	0,157967	0,64
0,65	0,322972	0,257846	0,155372	0,65
0,66	0,320864	0,254627	0,152810	0,66
0,67	0,318737	0,251429	0,150280	0,67
0,68	0,316593	0,248252	0,147781	0,68
0,69	0,314432	0,245097	0,145315	0,69
0,70	0,312254	0,241964	0,142879	0,70
0,71	0,310060	0,238852	0,140475	0,71
0,72	0,307851	0,235762	0,138102	0,72
0,73	0,305627	0,232695	0,135760	0,73
0,74	0,303389	0,229650	0,133448	0,74
0,75	0,301137	0,226627	0,131167	0,75
0,76	0,298872	0,223627	0,128916	0,76
0,77	0,296595	0,220650	0,126694	0,77
0,78	0,294305	0,217695	0,124503	0,78
0,79	0,292004	0,214764	0,122340	0,79
0,80	0,289692	0,211855	0,120207	0,80
0,81	0,287369	0,208970	0,118103	0,81
0,82	0,285036	0,206108	0,116028	0,82
0,83	0,282694	0,203269	0,113981	0,83
0,84	0,280344	0,200454	0,111962	0,84
0,85	0,277985	0,197662	0,109972	0,85
0,86	0,275618	0,194894	0,108009	0,86
0,87	0,273244	0,192150	0,106074	0,87
0,88	0,270864	0,189430	0,104166	0,88
0,89	0,268477	0,186733	0,102285	0,89
0,90	0,266085	0,184060	0,100431	0,90
0,91	0,263688	0,181411	0,098604	0,91
0,92	0,261286	0,178786	0,096803	0,92
0,93	0,258881	0,176186	0,095028	0,93
0,94	0,256471	0,173609	0,093279	0,94
0,95	0,254059	0,171056	0,091556	0,95
0,96	0,251644	0,168528	0,089858	0,96
0,97	0,249228	0,166023	0,088185	0,97
0,98	0,246809	0,163543	0,086537	0,98
0,99	0,244390	0,161087	0,084914	0,99

k	$f_u(k)$	$p_u(k)$	$G_u(k)$	k
1,00	0,241971	0,158655	0,083315	1,00
1,01	0,239551	0,156248	0,081741	1,01
1,02	0,237132	0,153864	0,080190	1,02
1,03	0,234714	0,151505	0,078664	1,03
1,04	0,232297	0,149170	0,077160	1,04
1,05	0,229882	0,146859	0,075680	1,05
1,06	0,227470	0,144572	0,074223	1,06
1,07	0,225060	0,142310	0,072789	1,07
1,08	0,222653	0,140071	0,071377	1,08
1,09	0,220251	0,137857	0,069987	1,09
1,10	0,217852	0,135666	0,068619	1,10
1,11	0,215458	0,133500	0,067274	1,11
1,12	0,213069	0,131357	0,065949	1,12
1,13	0,210686	0,129238	0,064646	1,13
1,14	0,208308	0,127143	0,063365	1,14
1,15	0,205936	0,125072	0,062103	1,15
1,16	0,203571	0,123024	0,060863	1,16
1,17	0,201214	0,121001	0,059643	1,17
1,18	0,198863	0,119000	0,058443	1,18
1,19	0,196520	0,117023	0,057263	1,19
1,20	0,194186	0,115070	0,056102	1,20
1,21	0,191860	0,113140	0,054961	1,21
1,22	0,189543	0,111233	0,053840	1,22
1,23	0,187235	0,109349	0,052737	1,23
1,24	0,184937	0,107488	0,051652	1,24
1,25	0,182649	0,105650	0,050587	1,25
1,26	0,180371	0,103835	0,049539	1,26
1,27	0,178104	0,102042	0,048510	1,27
1,28	0,175847	0,100273	0,047498	1,28
1,29	0,173602	0,098525	0,046504	1,29
1,30	0,171369	0,096801	0,045528	1,30
1,31	0,169147	0,095098	0,044568	1,31
1,32	0,166937	0,093418	0,043626	1,32
1,33	0,164740	0,091759	0,042700	1,33
1,34	0,162555	0,090123	0,041791	1,34
1,35	0,160383	0,088508	0,040897	1,35
1,36	0,158225	0,086915	0,040020	1,36
1,37	0,156080	0,085344	0,039159	1,37
1,38	0,153948	0,083793	0,038313	1,38
1,39	0,151831	0,082264	0,037483	1,39
1,40	0,149727	0,080757	0,036668	1,40
1,41	0,147639	0,079270	0,035868	1,41
1,42	0,145564	0,077804	0,035083	1,42
1,43	0,143505	0,076359	0,034312	1,43
1,44	0,141460	0,074934	0,033555	1,44
1,45	0,139431	0,073529	0,032813	1,45
1,46	0,137417	0,072145	0,032085	1,46
1,47	0,135418	0,070781	0,031370	1,47
1,48	0,133435	0,069437	0,030669	1,48
1,49	0,131468	0,068112	0,029981	1,49

k	$f_u(k)$	$p_u(k)$	$G_u(k)$	k
1,50	0,129518	0,066807	0,029307	1,50
1,51	0,127583	0,065522	0,028645	1,51
1,52	0,125665	0,064256	0,027996	1,52
1,53	0,123763	0,063008	0,027360	1,53
1,54	0,121878	0,061780	0,026736	1,54
1,55	0,120009	0,060571	0,026124	1,55
1,56	0,118157	0,059380	0,025525	1,56
1,57	0,116323	0,058208	0,024937	1,57
1,58	0,114505	0,057053	0,024360	1,58
1,59	0,112704	0,055917	0,023796	1,59
1,60	0,110921	0,054799	0,023242	1,60
1,61	0,109155	0,053699	0,022700	1,61
1,62	0,107406	0,052616	0,022168	1,62
1,63	0,105675	0,051551	0,021647	1,63
1,64	0,103961	0,050503	0,021137	1,64
1,65	0,102265	0,049471	0,020637	1,65
1,66	0,100586	0,048457	0,020147	1,66
1,67	0,098925	0,047460	0,019668	1,67
1,68	0,097282	0,046479	0,019198	1,68
1,69	0,095657	0,045514	0,018738	1,69
1,70	0,094049	0,044565	0,018288	1,70
1,71	0,092459	0,043633	0,017847	1,71
1,72	0,090887	0,042716	0,017415	1,72
1,73	0,089333	0,041815	0,016993	1,73
1,74	0,087796	0,040929	0,016579	1,74
1,75	0,086277	0,040059	0,016174	1,75
1,76	0,084776	0,039204	0,015778	1,76
1,77	0,083293	0,038364	0,015390	1,77
1,78	0,081828	0,037538	0,015010	1,78
1,79	0,080380	0,036727	0,014639	1,79
1,80	0,078950	0,035930	0,014276	1,80
1,81	0,077538	0,035148	0,013920	1,81
1,82	0,076143	0,034379	0,013573	1,82
1,83	0,074766	0,033625	0,013233	1,83
1,84	0,073407	0,032884	0,012900	1,84
1,85	0,072065	0,032157	0,012575	1,85
1,86	0,070740	0,031443	0,012257	1,86
1,87	0,069433	0,030742	0,011946	1,87
1,88	0,068144	0,030054	0,011642	1,88
1,89	0,066871	0,029379	0,011345	1,89
1,90	0,065616	0,028716	0,011054	1,90
1,91	0,064378	0,028067	0,010771	1,91
1,92	0,063157	0,027429	0,010493	1,92
1,93	0,061952	0,026803	0,010222	1,93
1,94	0,060765	0,026190	0,009957	1,94
1,95	0,059595	0,025588	0,009698	1,95
1,96	0,058441	0,024998	0,009445	1,96
1,97	0,057304	0,024419	0,009198	1,97
1,98	0,056183	0,023852	0,008957	1,98
1,99	0,055079	0,023295	0,008721	1,99

Anexo II – Selección de proveedores mediante proceso analítico jerárquico

PROVEEDORES NACIONALES

Matriz de comparación de alternativas

Criterio: Tiempo de entrega				Matriz normalizada		
	P1	P2	P3			
P1	1.00	5.00	4.00	0.690	0.556	0.750
P2	0.20	1.00	0.33	0.138	0.111	0.063
P3	0.25	3.00	1.00	0.172	0.333	0.188
	1.45	9.00	5.33			

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.043475
0.665	2.109	3.17	IA	0.66
0.104	0.314	3.02	CR	0.065871
0.231	0.709	3.07		
		lamb max		3.09

Criterio: Facilidades de pago				Matriz normalizada		
	P1	P2	P3			
P1	1.00	3.00	3.00	0.600	0.500	0.667
P2	0.33	1.00	0.50	0.200	0.167	0.111
P3	0.33	2.00	1.00	0.200	0.333	0.222
	1.67	6.00	4.50			

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.026952
0.589	1.822	3.09	IA	0.66
0.159	0.481	3.02	CR	0.040837
0.252	0.767	3.04		
		lamb max		3.05

Criterio: Volumen de compra				Matriz normalizada		
	P1	P2	P3			
P1	1.00	9.00	5.00	0.763	0.600	0.806
P2	0.11	1.00	0.20	0.085	0.067	0.032
P3	0.20	5.00	1.00	0.153	0.333	0.161
	1.31	15.00	6.20			

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.060022
0.723	2.353	3.25	IA	0.66
0.061	0.185	3.02	CR	0.090942
0.216	0.666	3.09		
		lamb max		3.12

Matriz de comparación de criterios

P. NACIONALES	LT	FP	VC	Matriz normalizada			Vector de Prioridad
Tiempo de entrega	1.00	5.00	6.00	0.73	0.79	0.60	0.707
Facilidad de pago	0.20	1.00	3.00	0.15	0.16	0.30	0.201
Volumen de compra	0.17	0.33	1.00	0.12	0.05	0.10	0.092
	1.37	6.33	10.00				

P. NACIONALES	LT	FP	VC		Vector de Prioridad	Vector Fila Total
LT	1.00	5.00	6.00		0.707	2.263
FP	0.20	1.00	3.00	X	0.201	0.617
VC	0.17	0.33	1.00		0.092	0.277

COCIENTE	CI	0.047902
3.20	IA	0.66
3.07	CR	0.0726
3.02		
lamb max		3.10

PROVEEDORES INTERNACIONALES

Matriz de comparación de alternativas

Criterio: Tiempo de entrega				Matriz normalizada		
	P4	P5	P6			
P4	1.00	3.00	0.20	0.158	0.273	0.149
P5	0.33	1.00	0.14	0.053	0.091	0.106
P6	5.00	7.00	1.00	0.789	0.636	0.745
	6.33	11.00	1.34			

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.032909
0.193	0.588	3.04	IA	0.66
0.083	0.251	3.01	CR	0.049863
0.724	2.273	3.14		
		lamb max		3.07

Criterio: Facilidades de pago				Matriz normalizada		
	P4	P5	P6			
P4	1.00	0.20	0.33	0.111	0.130	0.077
P5	5.00	1.00	3.00	0.556	0.652	0.692
P6	3.00	0.33	1.00	0.333	0.217	0.231
	9.00	1.53	4.33			

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.019357
0.106	0.320	3.01	IA	0.66
0.633	1.946	3.07	CR	0.029329
0.260	0.790	3.03		
		lamb max		3.04

Criterio: Volumen de compra				Matriz normalizada		
	P4	P5	P6			
P4	1.00	0.14	0.33	0.091	0.106	0.053
P5	7.00	1.00	5.00	0.636	0.745	0.789
P6	3.00	0.20	1.00	0.273	0.149	0.158
	11.00	1.34	6.33			

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.032909
0.083	0.251	3.01	IA	0.66
0.724	2.273	3.14	CR	0.049863
0.193	0.588	3.04		
		lamb max		3.07

Matriz de comparación de criterios

P. INTERNACIONALES	LT	FP	VC	Matriz normalizada			Vector de Prioridad
Tiempo de entrega	1.00	7.00	5.00	0.73	1.11	0.50	0.779
Facilidad de pago	0.14	1.00	0.33	0.10	0.16	0.03	0.099
Volumen de compra	0.20	3.00	1.00	0.15	0.47	0.10	0.240
	1.34	11.00	6.33				

P. INTERNACIONALES	LT	FP	VC		Vector de Prioridad	Vector Fila Total
LT	1.00	7.00	5.00		0.779	2.669
FP	0.14	1.00	0.33	X	0.099	0.290
VC	0.20	3.00	1.00		0.240	0.692

	COCIENTE	CI	0.041355
	3.43	IA	0.66
	2.94	CR	0.062659
	2.88		
lamb max	3.08		

Anexo III – Selección de productos mediante proceso analítico jerárquico

Matriz de comparación de alternativas

Criterio: Ventas anuales (VA)						Matriz normalizada				
	C	E	I	L	V					
Control	1.00	5.00	3.00	3.00	0.33	0.205	0.333	0.375	0.261	0.161
Estabilizadores	0.20	1.00	0.50	0.50	0.20	0.041	0.067	0.063	0.043	0.097
Inhibidores	0.33	2.00	1.00	2.00	0.33	0.068	0.133	0.125	0.174	0.161
Lubricantes	0.33	2.00	0.50	1.00	0.20	0.068	0.133	0.063	0.087	0.097
Viscosificantes	3.00	5.00	3.00	5.00	1.00	0.616	0.333	0.375	0.435	0.484
	4.87	15.00	8.00	11.50	2.07					

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.044204
0.267	1.393	5.21	IA	1.188
0.062	0.316	5.09	CR	0.037209
0.132	0.674	5.09		
0.090	0.459	5.12		
0.449	2.406	5.36		
		lamb max		5.18

Criterio: Costo Unitario (CU)						Matriz normalizada				
	C	E	I	L	V					
Control	1.00	3.00	3.00	5.00	9.00	0.474	0.398	0.634	0.405	0.391
Estabilizadores	0.33	1.00	0.33	3.00	5.00	0.158	0.133	0.070	0.243	0.217
Inhibidores	0.33	3.00	1.00	3.00	5.00	0.158	0.398	0.211	0.243	0.217
Lubricantes	0.33	0.33	0.20	1.00	3.00	0.158	0.044	0.042	0.081	0.130
Viscosificantes	0.11	0.20	0.20	0.33	1.00	0.053	0.027	0.042	0.027	0.043
	2.11	7.53	4.73	12.33	23.00					

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.07748
0.460	2.492	5.41	IA	1.188
0.164	0.865	5.26	CR	0.065219
0.246	1.358	5.53		
0.091	0.464	5.09		
0.038	0.202	5.26		
		lamb max		5.31

Criterio: Rotacion de inventario (RI)					
	C	E	I	L	V
Control	1.00	0.20	0.33	3.00	0.33
Estabilizadores	5.00	1.00	2.00	5.00	2.00
Inhibidores	3.00	0.50	1.00	5.00	2.00
Lubricantes	0.33	0.20	0.20	1.00	0.33
Viscosificantes	3.00	0.50	0.50	3.00	1.00
	12.33	2.40	4.03	17.00	5.67

Matriz normalizada				
0.081	0.083	0.083	0.176	0.059
0.405	0.417	0.496	0.294	0.353
0.243	0.208	0.248	0.294	0.353
0.027	0.083	0.050	0.059	0.059
0.243	0.208	0.124	0.176	0.176

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.044778
0.096	0.493	5.11	IA	1.188
0.393	2.063	5.25	CR	0.037692
0.269	1.404	5.21		
0.056	0.282	5.08		
0.186	0.973	5.24		
		lamb max		5.18

Criterio: Tiempo de entrega (LT)					
	C	E	I	L	V
Control	1.00	3.00	5.00	3.00	2.00
Estabilizadores	0.33	1.00	3.00	2.00	0.33
Inhibidores	0.20	0.33	1.00	0.50	0.33
Lubricantes	0.33	0.50	2.00	1.00	0.20
Viscosificantes	0.50	3.00	3.00	5.00	1.00
	2.37	7.83	14.00	11.50	3.87

Matriz normalizada				
0.423	0.383	0.357	0.261	0.517
0.141	0.128	0.214	0.174	0.086
0.085	0.043	0.071	0.043	0.086
0.141	0.064	0.143	0.087	0.052
0.211	0.383	0.214	0.435	0.259

Vector prioridad	Vector Fila Total	COCIENTE	CI	0.057105
0.388	2.055	5.29	IA	1.188
0.149	0.769	5.18	CR	0.048068
0.066	0.342	5.20		
0.097	0.492	5.06		
0.300	1.623	5.40		
		lamb max		5.23

Matriz de comparación de criterios

	VA	CU	RI	LT	Matriz normalizada				Vector de Prioridad
VA	1.00	3.00	2.00	0.33	0.21	0.25	0.32	0.18	0.238
CU	0.33	1.00	0.33	0.20	0.07	0.08	0.05	0.11	0.078
RI	0.50	3.00	1.00	0.33	0.10	0.25	0.16	0.18	0.172
LT	3.00	5.00	3.00	1.00	0.62	0.42	0.47	0.54	0.512
	4.83	12.00	6.33	1.87					

P. INTERNACIONALES	VA	CU	RI	LT		Vector de Prioridad	Vector Fila Total
VA		1.00	3.00	2.00	0.33	0.238	0.987
CU		0.33	1.00	0.33	0.20	0.078	0.317
RI		0.50	3.00	1.00	0.33	0.172	0.696
LT		3.00	5.00	3.00	1.00	0.512	2.133

COCIENTE		CI	0.034984
	4.15	IA	0.99
	4.06	CR	0.0353
	4.04		
	4.17		
lamb max	4.10		

Anexo IV – Cálculo de costo total relevante

Productos de compra nacional

Situación Actual

Ítem	Demanda	Desviación demanda	Desviación estándar	Tiempo de entrega	Costos de ordenamiento	Nivel de servicio	P(K)	Factor	Valor unitario	D.v.
	Unidad/mes		unidad	mes	\$/orden					
	di		σ_i	Li	ai	P1	P(K)	ki	\$/unidad	
BAR	13068	3,880.66	2,515.50	0.23	15	0.98	0.02	2.053768	12.98	169,622.64
B-001	827	257.04	166.62	0.23	15	0.9	0.1	1.281562	8.13	6,723.51
B-002	2627	736.01	1,793.12	0.23	15	0.94	0.1	1.554794	8.13	21,357.51
B-003	5089	1,286.07	616.78	0.23	15	0.96	0.04	1.75069	8.09	41,170.01
					60					238,873.67

Ítem	Costo del faltante	$g(k)$	Nivel Máximo	$k \cdot \sigma_i \cdot v$	$b.v.\sigma_i \cdot g$	Nivel de servicio
			unidades			
	B2i		si			P2
BAR	0.12	0.007344	10,657	67,058.07	28.77	0.992567
B-001	0.09	0.047343	5,122	1,736.00	5.77	0.949847
B-002	0.14	0.03	3,392	22,665.91	52.73	0.907271
B-003	0.09	0.016147	2,250	8,735.44	7.25	0.98971
				100,195.41	94.53	

Ítems agrupados: kconstante

Ítem	Demanda	Desviación demanda	Desviación estándar	Tiempo de entrega	Costos de ordenamiento	Nivel de servicio	P(K)	Factor	Valor unitario	D.v.
	Unidad/mes		unidad	mes	\$/orden					
	di		simga i	Li	ai	P1	P(K)	ki	\$/unidad	
BAR	13068	3880.659	2574.89	0.23	15	0.97	0.02612	1.941163	12.98	169,622.64
B-001	827	257.0397	170.55	0.23	15	0.97	0.02612	1.941163	8.13	6,723.51
B-002	2627	736.0051	1881.88	0.23	15	0.97	0.02612	1.941163	8.13	21,357.51
B-003	5089	1286.065	616.78	0.23	15	0.97	0.02612	1.941163	8.09	41,170.01
					60					238,873.67

Ítem	Costo del faltante	g(k)	Nivel Máximo	k*sigms*v	b.v.sima.g	Nivel de servicio
			unidades			
	B2i		si			P2
BAR	0.12	0.009927	10,489	64,877.58	39.81	0.989715
B-001	0.09	0.009927	679	2,691.57	1.24	0.989236
B-002	0.14	0.009927	4,757	29,699.21	21.26	0.962609
B-003	0.09	0.009927	2,368	9,685.84	4.46	0.993674
				106,954.19	66.77	

Productos de compra internacional

Situación actual

Ítem	Demanda	Desviación demanda	Desviación estándar	Tiempo de entrega	Costos de ordenamiento	Nivel de servicio	P(K)	Factor	Valor unitario	D.v.
	Unidad/mes		unidad	mes	\$/orden					
	di		sigma i	Li	ai	P1	P(K)	ki	\$/unidad	
CB	155	25.71	188.46	3.73	15	0.9	0.1	1.281562	155.01	24,026.55
DC	22	6.31	12.65	3.73	25	0.97	0.03	1.8808	1,215.50	26,741.00
FB	16	4.07	14.38	3.73	30	0.98	0.02	2.053768	2756.902	44,110.44
SBK	48	6.74	13.02	3.73	25	0.95	0.05	1.6449	1,175.00	56,400.00
WZ	90	49.78	96.14	3.73	25	0.97	0.03	1.8808	445.00	40,050.00
					120					191,327.99

Ítem	Costo del faltante	g(k)	Nivel Máximo	k*sigms*v	b.v.sima.g	Nivel de servicio
			unidades			
	B2i		si			P2
CB	0.14	0.05	865	37,437.75	193.62	0.802911
DC	0.09	0.01162	299	28,930.18	16.09	0.977114
FB	0.05	0.007344	89	81,447.78	14.56	0.977394
SBK	0.12	0.020893	200	25,158.90	38.35	0.9806
WZ	0.09	0.01162	517	80,465.91	44.74	0.957499
				253,440.53	307.36	

Ítems agrupados: kconstante

Ítem	Demanda	Desviación demanda	Desviación estándar	Tiempo de entrega	Costos de ordenamiento	Nivel de servicio	P(K)	Factor	Valor unitario	D.v.
	Unidad/mes		unidad	mes	\$/orden					
	di		σ_i	Li	ai	P1	P(K)	ki	\$/unidad	
CB	155	25.71	188.46	3.73	15	0.96	0.035522	1.805211	155.01	24,026.55
DC	22	6.31	12.65	3.73	25	0.96	0.035522	1.805211	1,215.50	26,741.00
FB	16	4.07	14.38	3.73	30	0.96	0.035522	1.805211	2756.902	44,110.44
SBK	48	6.74	13.02	3.73	25	0.96	0.035522	1.805211	1,175.00	56,400.00
WZ	90	49.78	96.14	3.73	25	0.96	0.035522	1.805211	445.00	40,050.00
					120					191,327.99

Ítem	Costo del faltante	$g(k)$	Nivel Máximo	$k*\sigma_i*v$	b.v.sima.g	Nivel de servicio
			unidades			
	B2i		si			P2
CB	0.14	0.01409	716	14,428.26	15.77	0.983951
DC	0.09	0.01409	111	27,767.49	19.51	0.972249
FB	0.05	0.01409	79	40,622.63	15.85	0.975388
SBK	0.12	0.01409	217	28,671.47	26.86	0.986414
WZ	0.09	0.01409	509	77,232.01	54.25	0.948463
				188,721.86	132.24	