

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Desarrollo de un modelo de política de contratación de personal
basado en un modelo de inventario”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presentado por:

CHRISTIAN ENRIQUE SILVA BARREIRO

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida gracias a todas sus bendiciones.

Agradezco a mis padres por darme todo su amor y confianza a lo largo de estos años.

Agradezco a mis familiares y amigos por apoyarme siempre.

Agradezco a mis profesores por impartirme sus conocimientos.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a
mis padres. Sus enseñanzas
me han guiado siempre.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Marcos Buestán B.
DIRECTOR DEL TFG

Ph. D. Andrés Abad R.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Christian Enrique Silva Barreiro

RESUMEN

Debido a la rotación constante del personal, las organizaciones que requieren altas cantidades de mano de obra disponible se ven obligadas a realizar constantemente procesos de reclutamiento y selección de personal. Dados los costos que esto involucra, en el presente trabajo se propone planificar al personal operacional como un inventario y utilizar un modelo de inventario como política de contratación, de tal forma que se logre reducir los costos incurridos y cumplir los requerimientos no operacionales del personal tales como descanso y capacitación.

Para esto, se plantea un modelo basado en un EOQ clásico (por sus siglas en inglés, Economic Order Quantity), así como variaciones del mismo utilizando stock de seguridad. Con el uso de simulación, se realiza varias corridas simulando diversos escenarios factibles, en los cuales, de acuerdo a la rotación generada, cada modelo solicita la contratación de personal. Finalmente, se compara cada uno de los modelos y su desempeño con respecto a costos y cumplimiento de actividades. Se pudo observar que el modelo basado en EOQ con stock de seguridad de cantidad fija es el más robusto en los diferentes escenarios simulados.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivos	5
1.3. Planteamiento del Problema	6
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Políticas de contratación de personal.....	10

2.2. Costos asociados a la contratación y mantenimiento de personal ..	
.....	16
2.3. Factores de dotación para el cálculo de la contratación de personal ..	
.....	17
2.4. Modelos de inventario ..	19
2.5. Decisiones sobre el inventario.....	44
2.6. Aplicaciones de los modelos de inventario.....	47

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO DEL MODELO ..	49
3.1. Planteamiento de la función objetivo del modelo ..	50
3.2. Selección del modelo de inventario base ..	53
3.3. Formulación de supuestos y alcance del modelo ..	57
3.4. Definición de las variables involucradas en el modelo ..	59
3.5. Planteamiento formal del modelo ..	62

CAPÍTULO 4

4. VALIDACIÓN DEL MODELO ..	70
-----------------------------	----

4.1. Planteamiento de la metodología de validación a través de simulación	71
4.1.1. Definición de indicadores de desempeño del modelo	72
4.2. Selección de los criterios para simulación de las variables.....	75
4.3. Simulación	77
4.3.1. Definición de modelos de control.....	78
4.3.2. Corridas experimentales	85
4.3.3. Validación de resultados de simulación.....	88

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	92
5.1. Análisis de indicadores de desempeño del modelo	92
5.2. Discusión de resultados	100
5.3. Conclusiones	102

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EOQ	Economic Order Quantity
WIP	Work in Process
POQ	Production Order Quantity
SS	Safety Stock
NC	Nivel de Confianza
ROP	Reorder Point
LT	Lead Time
Q	Cantidad
QReq	Cantidad requerida
FD	Factor de dotación
D	Demanda
K	Costo fijo de pedido
H	Costo de almacenamiento y setup
t	Tiempo
p	Tasa de producción
P	Precio por unidad
SS	Stock de seguridad
z	Percentil de distribución normal
QMin	Cantidad mínima
QOp	Cantidad operacional
T	Periodo de reposición
e	Porcentaje de error
n	Tamaño de muestra

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 GRÁFICA DE COSTOS TOTALES DEL INVENTARIO.....	30
Figura 2.2 NIVEL DE INVENTARIO EN EL TIEMPO EN MODELO EOQ ...	33
Figura 2.3 NIVEL DE INVENTARIO EN EL TIEMPO EN MODELO POQ ...	38
Figura 3.1 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (I)	65
Figura 3.2 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (II)	66
Figura 3.3 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (III)	67
Figura 3.4 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (IV)	67
Figura 4.1 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EOQ CLÁSICO.	89
Figura 4.2 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EOQ DE PERIODO FIJO.....	89
Figura 4.3 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EOQ DE CANTIDAD FIJA	90
Figura 4.4 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EMPÍRICO	90

Figura 5.1 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 1.....	94
Figura 5.2 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES NO OPERACIONALES DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 1.....	94
Figura 5.3 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 2.....	95
Figura 5.4 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES NO OPERACIONALES DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 2.....	96
Figura 5.5 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 3.....	97
Figura 5.6 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES NO OPERACIONALES DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 3.....	97
Figura 5.7 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DEL MODELO EOQ DE CANTIDAD FIJA EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS.....	99

Figura 5.8 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DEL MODELO EOQ DE CANTIDAD FIJA EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS.	99
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO	23
TABLA 2: ANÁLISIS DE MODELOS DE INVENTARIO PARA SELECCIÓN DE MODELO BASE PARA LA POLÍTICA DE CONTRATACIÓN	54
TABLA 3: COMPARACIÓN DE VARIABLES DE UN MODELO CLÁSICO DE INVENTARIO CON VARIABLES DE UN MODELO DE POLÍTICA DE CONTRATACIÓN	60
TABLA 4: VALORES DE LAS VARIABLES EN EL ESCENARIO INICIAL DE SIMULACIÓN.....	76
TABLA 5: COSTOS DE CONTRATACIÓN PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE SIMULACIÓN.	86

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se encuentra dividido en cinco capítulos para el desarrollo total del tema planteado.

En el primer capítulo se menciona los antecedentes, se describe a detalle el problema en estudio y se establecen los objetivos a alcanzar.

En el segundo capítulo se revisa el marco teórico sobre las políticas de contratación, así como de los diferentes modelos de inventario existentes, y de todos los factores que afectan al personal y al inventario.

En el tercer capítulo, se desarrolla el modelo de política de contratación incluyendo, entre otros, el planteamiento de la función objetivo, la formulación de supuestos y la definición de las variables.

En el capítulo cuarto se valida el modelo a través de simulación, para lo cual previamente se define indicadores de desempeño del modelo. Adicionalmente, se plantea modelos de control, los cuales son sometidos a

corridas experimentales junto con el modelo planteado para medir cuál es más robusto.

Finalmente, en el quinto capítulo se revisa a detalle y se discute los resultados.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Los modelos de inventario han sido aplicados ampliamente en diferentes realidades de la industria. Su aplicación es valiosa por proporcionar la guía sobre cómo realizar el reabastecimiento de determinado ítem en cuanto a tiempo, cantidad y forma. Además, garantizan el menor costo y el cumplimiento de políticas de operación establecidas por la compañía, tales como nivel de servicio, stock de seguridad, tiempo de respuesta, entre otros.

Dentro de las organizaciones que cuentan con grupos de colaboradores operativos o con funciones genéricas que representan una población de gran tamaño, la cantidad de colaboradores puede ser considerada como un inventario. De esta forma, podría desarrollarse un modelo de inventario para la decisión de contratación de personal en una empresa. Este modelo debe generar menores costos totales, así como cumplir las políticas de empresa y gubernamentales.

El presente trabajo muestra el desarrollo y validación de un modelo de inventario aplicado a la contratación de personal bajo ciertas condiciones definidas. Este trabajo es realizado para proponer una nueva aplicación a los modelos de inventario, con su integración a la Gestión de Recursos Humanos, y todos los criterios que esta área aporta. Con esta unión, se demuestra también el alcance transversal de la Ingeniería Industrial dentro de una organización.

El tema a desarrollar tiene una alta relevancia, pues propone un criterio definido para realizar la contratación de personal dentro de una empresa. Al realizar la contratación de forma eficiente, se

puede optimizar costos de selección, capacitación y remuneración de personal.

1.2. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un modelo de inventario que permita definir la cantidad óptima de personal a contratar junto con su periodicidad en una organización, dadas las condiciones operacionales y bajo ciertos supuestos definidos.

Objetivos específicos

1. Definir un marco teórico de modelos tradicionales de inventario que permita escoger el modelo correcto a aplicar al problema, así como la correcta definición de supuestos.
2. Adaptar un modelo existente de inventario para ser utilizado en la contratación de personal.

3. Realizar corridas de simulación para evaluar el comportamiento del modelo propuesto.
4. Comparar el comportamiento del modelo propuesto con el comportamiento tradicional de una empresa, y validar las ventajas de la utilización del modelo.
5. Proponer la utilización del modelo dentro de las empresas que apliquen y brindar recomendaciones para su uso.

1.3. Planteamiento del Problema

Existen muchas organizaciones a nivel mundial que cuentan con poblaciones de personal cuyo número requerido está sujeto a la magnitud de la operación de la empresa.

Por varios motivos, el número existente de personal en estas poblaciones no se mantiene estático en el tiempo. Dependiendo del entorno, uno de los principales motivos que afecta al número existente de personal es la rotación del mismo, la cual genera que la población decaiga constantemente.

Dado esto, las empresas se ven obligadas a reponer constantemente su personal en las poblaciones con altos índices de rotación, lo cual tiene altos costos asociados de reclutamiento, selección, capacitación y remuneración.

Esta situación se vuelve más crítica en aquellas empresas que deben contratar personal que requiere entrenamiento especializado, brindado únicamente para el cargo a través de cursos preparatorios de mediana a larga duración. En estos casos, las empresas no pueden realizar contrataciones individuales, dada la complejidad logística y poca rentabilidad de efectuar un curso preparatorio para una sola persona. La alternativa adoptada generalmente por las empresas en estos casos es efectuar contrataciones con un número “ligeramente mayor” al requerido operacionalmente, para cubrir la rotación por un periodo mayor.

La decisión de realizar contratación en un número más alto al solicitado por la operación hace sentido desde el punto de vista de la planificación del personal, sin embargo esto genera costos adicionales en salario de personal que en algún momento no estaba requerido por la operación.

Para poder equilibrar los costos de integrar nuevo personal (ligado a los cursos preparatorios) con los costos de salario en personal contratado como “holgura temporal”, se propone la aplicación de un modelo de inventario existente y desarrollarlo como una herramienta que rijan la contratación del personal dentro de una empresa. A la vez este modelo debe servir como apoyo a la planificación y garantizar el cumplimiento de todas las leyes laborales aplicables, así como políticas internas de la compañía.

Este trabajo aportará a las industrias que se encuentren en una problemática similar a la descrita, para reducir costos ligados a la gestión del personal operativo. Además, podrá ser utilizado por estudiantes de ESPOLE estudiando las materias de Administración de Operaciones, para que puedan estudiar este modelo como otra aplicación de los modelos de inventario clásicos aprendidos en clase.

Este trabajo cobra especial relevancia para industrias en desarrollo y con aumento de demanda. En tal escenario de crecimiento, el número requerido de personal operativo y especializado se proyecta a ser cada vez más alto; lo que a su vez exige que la planificación y administración de este personal sea cada vez más eficiente.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo, se hace una revisión a las políticas y modelos existentes de contratación de personal como parte de la Planificación del Personal, lo cual servirá como punto de partida para la propuesta de un nuevo modelo de contratación.

Para tener un mejor entendimiento sobre las posibles restricciones y variables del modelo, se realiza también una breve revisión literaria a los costos asociados a la contratación y al mantenimiento del personal; así

como también los factores de dotación mayormente utilizados en el cálculo de la Planificación del Personal.

Finalmente, se realiza una revisión general sobre los modelos de inventario, las diferentes decisiones existentes sobre el inventario, y las aplicaciones actuales de modelos de inventario, como ayuda para el desarrollo de una nueva aplicación.

2.1. Políticas de contratación de personal

La decisión sobre la contratación de personal es de muy alta importancia dentro de las organizaciones, pues tiene un impacto directo sobre los costos totales de operación.

Para poder establecer una política de contratación de personal, la organización debe implementar una Estrategia de Planificación de Personal, la cual dará los requerimientos y lineamientos generales que se debe cumplir a través de los procesos de contratación.

Planificación del Personal

La Planificación de Personal tiene como meta definir los requerimientos de contratación, de tal forma que la organización pueda tener “la cantidad correcta del personal correcto en el momento correcto al mínimo costo”.

Cantidad correcta: Se refiere al número requerido de acuerdo al análisis de capacidad operacional realizado por la organización.

Personal correcto: Hace referencia al personal calificado y capacitado adecuadamente para el puesto a ser ocupado.

Momento correcto: Indica un momento específico en el tiempo, de acuerdo a los requerimientos operacionales de la organización.

Dentro de las organizaciones de carácter operacional, la Planificación del Personal es de vital importancia, pues actúa como ente de provisión del recurso humano necesario en el presente y en el futuro.

La Planificación del Personal no sólo se debe encargar de los requerimientos en el primer nivel de la línea o “línea de entrada” (posiciones de trabajo inicial, reclutados exclusivamente del mercado externo); si no también, revisar los requerimientos en puestos de sucesión. Esta planificación tiene ciertas consideraciones adicionales:

Entrenamiento: De acuerdo al tipo de puesto, pueden existir procesos de entrenamiento adicionales previos a la sucesión, para los cuales se debe considerar una planificación específica, pues representan un periodo en que se reduce la capacidad operativa.

Tipo de organización y jerarquía: Existen organizaciones de naturaleza cerrada, en las cuales la sucesión se realiza únicamente de personal interno. Con respecto a la sucesión, la organización puede tener jerarquía estricta o flexible, es decir, la sucesión se limita a buscar candidatos en el puesto inmediato inferior o busca en más puestos. Un ejemplo de organización con jerarquía estricta son las instituciones militares.

Flujo de sucesión: Según la planificación de la organización, el flujo de la sucesión puede ser descrito como un flujo pull o un flujo push. En las organizaciones donde las sucesiones se realizan por algún requerimiento o vacante en el puesto destino, el flujo de sucesión puede ser descrito como un modelo pull; que es así como se comportan la mayoría de organizaciones. Por otro lado, las organizaciones donde el requerimiento de un ascenso nace desde el puesto origen, el flujo de sucesión toma comportamiento de modelo push. Un ejemplo de estas organizaciones son las organizaciones militares o médicas, donde el rango se entrega únicamente de acuerdo a la antigüedad de cada colaborador.

Integración con la Planificación Estratégica

La Planificación del Personal debe alinearse con la estrategia general de la organización para poder definir adecuadamente requerimientos de personal, establecer políticas y ejecutar planes con los cuales cumplir dichos requerimientos.

La consultora KPMG ha propuesto un proceso para la integración de la Planificación del Personal con la estrategia corporativa, a través de 10 pasos (4):

1. Revisión de la Estrategia Organizacional
2. Investigación del mercado laboral interno
3. Evaluación de los recursos existentes y planificados
4. Identificación de demandas/necesidades futuras de destrezas y sus excesos/carencias
5. Modelamiento de la fuerza laboral basado en hipótesis
6. Definición de los requerimientos de fuerza laboral
7. Desarrollo de una estrategia de recursos con el negocio
8. Desarrollo de un plan de recursos y compromiso con el negocio
9. Implementación y medición
10. Integración con otros procesos de planificación

Este plan puede ser resumido en tres etapas macro: Preparación, Acción e Integración.

En la etapa de preparación, se realiza una revisión a la estrategia general de la organización y se revisa el estado general actual y futuro de los recursos humanos de la empresa.

En la etapa de acción, se generan los requerimientos formales de fuerza laboral y destrezas para el personal, así como planes de recursos y alineación con la estrategia general de la organización. A través de la definición de requerimientos, se responde al “¿qué / cuánto?” de las necesidades de fuerza laboral. Una vez que se alinea con la estrategia se podrá responder al “¿cómo?”. Este “¿cómo?” puede ser definido como la política de contratación de personal.

Dependiendo de la estrategia de la empresa, su política de contratación podría priorizar diferentes aspectos involucrados, tales como: el cumplimiento estable de la operación a través de holguras de personal, reducción de carga periódica sobre el área de Selección y Reclutamiento a través de procesos de contratación masivos, renovación constante de la fuerza laboral a través de procesos permanentes de contratación, entre otros.

Finalmente, en la etapa de integración, se alinean y ejecutan estos requerimientos con los demás planes estratégicos de la organización.

2.2. Costos asociados a la contratación y mantenimiento de personal

Como se ha mencionado anteriormente, la fuerza laboral representa gran parte de los costos operacionales en las organizaciones. Para poder definir un modelo que optimice costos, es importante poder cuáles son estos costos, además de cómo y dónde se generan.

A través de una política de contratación se pueden gestionar dos tipos de costos: costos de contratación y costos de mantenimiento del personal. La economía laboral ha hecho extensas revisiones e investigaciones sobre estos costos, de entre los cuales destacan:

Costos de contratación:

- Consultoras de reclutamiento / Headhunters
- Publicidad / Anuncios
- Pruebas de evaluación de candidatos
- Carga laboral del departamento de Selección
- Costos administrativos varios
- Entrenamiento del nuevo personal

Costos de mantenimiento de personal:

- Salarios del personal
- Beneficios entregados al personal
- Entrenamiento periódico

2.3. Factores de dotación para el cálculo de la contratación de personal

Dado que el recurso humano no entrega el 100% de su tiempo laboral a actividades productivas, la Planificación del Personal debe considerar un factor de merma o factor de dotación para generar el requerimiento final de fuerza laboral. Este factor de dotación equivale al porcentaje del tiempo total que un operador promedio no dedica a actividades operativas, las cuales ya fueron consideradas en el requerimiento de personal.

Esta relación se puede expresar:

$$Q_{\text{req}} = \frac{Q}{(1-FD)} .$$

Donde;

Q = Cantidad de personal requerida operacionalmente

FD = Factor de dotación

Qreq = Cantidad total de personal requerida

Como se puede evaluar en la fórmula anterior, la cantidad de personal requerido dependerá únicamente del requerimiento operacional y del factor de dotación.

El requerimiento operacional está ligado directamente al volumen y naturaleza de la producción; mientras que el factor de dotación depende de las leyes laborales vigentes, así como la planificación de actividades no productivas que la organización asigne a los colaboradores.

Entre los requerimientos legales que podrían influir en el factor de dotación se encuentran:

- Vacaciones
- Feriados / días de descanso obligatorios

- Actividades de instrucción y/o certificación

Entre las actividades planificadas por la organización que podrían influir en el factor de dotación se encuentran:

- Capacitación
- Días libres adicionales
- Reuniones de planificación / seguimiento
- Actividades de integración

La adecuada Planificación del Personal debe encargarse de estimar los requerimientos de fuerza laboral considerando todas las actividades que afecten al factor de dotación aplicable para la organización.

2.4. Modelos de inventario

El inventario representa una alta inversión para las organizaciones de todo tipo. Además de su importancia financiera, el inventario tiene alta relevancia en los demás entornos de la organización, es por ello que se lo define como la sangre vital para cualquier sistema de producción o cadena de suministro (2).

El manejo adecuado del inventario es crucial y debe ser muy equilibrado, pues, aunque una reducción en el inventario podría

generar ahorro en costos, esa misma reducción podría generar bajo nivel de servicio por escasez. Este es el principal equilibrio que deben buscar las empresas, la compensación entre costo / servicio, el cual es el dilema que subyace en todo sistema de inventario.

El autor Wallace Hopp afirma que:

Sin importar que las entidades que se muevan a través del sistema sean materiales, personas o transacciones lógicas, la eficiencia con la que las mismas son almacenadas, procesadas, transportadas y coordinadas es central para la efectividad del sistema en general (2).

Esta referencia que menciona a las personas como una posible entidad de inventario da respaldo al planteamiento de un modelo de inventario para la contratación de personal.

Se puede concluir por tanto que, el inventario, sea de materiales o de fuerza laboral, puede servir de varias formas al sistema productivo, pero también tendrá múltiples costos asociados. Revisión detallada sobre las diferentes funciones y costos del inventario, así como la forma de optimización entre ambos, se detalla en las secciones a continuación.

Funciones del inventario

El inventario puede tener múltiples funciones dependiendo de cómo y en qué parte de la cadena de distribución esté siendo utilizado.

Entre los usos más frecuentes del mismo se encuentran:

1. Reserva de inventario para satisfacer demandas esperadas de los clientes.
2. Medio para independizar la producción de la distribución, cuando la demanda de una es mayor que la oferta de la otra.
3. Forma de ahorro al realizar compras al por mayor.
4. Protección contra inflación económica y cambio de precios de los productos.
5. Stock de seguridad como prevención para periodos de escasez.
6. Garantía de la continuidad de las operaciones con inventario en forma de WIP.

Costos asociados al inventario

El inventario de cualquier clase puede generar varios costos en las diferentes etapas del proceso productivo. Un adecuado conocimiento de los mismos es necesario para poder gestionarlos oportunamente.

Los costos generados por el inventario se dividen en tres grandes grupos: Costos de almacenamiento, Costo de orden y Costo de setup.

Costos de almacenamiento: Son los costos generados por almacenar y mantener durante el tiempo el inventario. Usualmente se estima entre estos costos los espacios físicos, seguros, mano de obra para manejar dicho inventario, entre otros. Sin embargo, Render y Heizer (5) afirman que “Muchas empresas fallan al incluir todos los costos de almacenamiento del inventario”.

En respuesta a esta falla frecuente, se propone la siguiente tabla par ayuda en la estimación de los costos de almacenamiento del inventario.

TABLA 1: ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO

Categoría	Costo como porcentaje del valor del inventario
<u>Costos de bodega:</u> Renta, depreciación, costo operativo, impuestos, seguros.	6% (3 – 10 %)
<u>Costos de manejo de material:</u> Equipos y su alquiler o depreciación, energía, costo operativo.	3% (1 – 3.5 %)
<u>Mano de obra por manejo de material extra</u>	3% (3 – 5 %)
<u>Costos de inversión:</u> Costos de préstamos, impuestos, seguros en el inventario.	11% (6 – 24 %)
<u>Merma:</u> Hurto, desperdicio y obsolescencia.	3% (2 – 5 %)
<u>Costo general</u>	26%

Fuente: Adaptado de Render y Heizer, 1997 (5)

Costo de orden: Son los costos administrativos de generar una nueva orden o perdido de inventario. Usualmente estos costos dependerán de la complejidad del departamento encargado de gestionar la solicitud de más inventario.

Costo de setup: Cuando el inventario debe además ser fabricado, se puede incurrir en costos de setup. En entornos de manufactura, estos costos están representados principalmente por el tiempo de setup. Generalmente, los costos de setup son incluidos dentro del costo de orden, sin embargo es importante conocer que son dos tipos diferentes de costos, pues se generan de diferentes formas, y por tanto se gestionan de formas diferentes.

Tipos de inventario

Como ya se revisó previamente, el inventario puede cumplir varias funciones dentro de una cadena productiva. Dependiendo de las circunstancias, el inventario puede ser de diferentes tipos, tales como:

Inventario de trabajo (Working stock): Son aquellas entidades conocidas como Work in Process (WIP). Es el inventario que está siendo utilizado activamente en la cadena productiva.

Un ejemplo de este inventario son las partes siendo pintadas dentro de un proceso de pintura. Si se considera al recurso humano como un inventario, es el personal que realiza funciones requeridas del proceso.

Inventario de congestión (Congestion stock): Son aquellas entidades que se acumulan en las diferentes etapas del proceso como fruto de la variabilidad. Son las entidades en espera de ser procesadas.

Un ejemplo de este inventario son las órdenes sobre un mostrador esperando a que haya un mesero que las entregue en un restaurante. Si se considera al recurso humano como un inventario, son los meseros que no tienen órdenes que entregar en un día que, por la variabilidad, existen pocas órdenes.

Inventario de ciclo (Cycle stock): Son las unidades adicionales a las requeridas de cualquier producto que se procesa en lote.

Un ejemplo de este inventario son los materiales que se compran en volumen mayor al requerido por restricciones en la importación, para que luego sean utilizados en un periodo largo de tiempo. Si se considera al recurso humano como un inventario, es el personal que se contrata en procesos masivos por requerimientos mínimos del proceso, tales como un proceso de entrenamiento con un mínimo de participantes.

Inventario de seguridad (Safety stock): Son las unidades que se tienen adicionales a las requeridas para amortiguar los efectos de la variabilidad.

Un ejemplo de este inventario son las unidades de medicamento que se mantienen en los botiquines de una sala de emergencia, en caso de que pacientes lo requieran. Si se considera al recurso humano como un inventario, el inventario de seguridad son los médicos disponibles en una sala de emergencia en caso de que haya pacientes que los requieran.

Inventario de anticipación (Anticipation stock): Son las unidades que se mantienen en stock como provisión frente a una demanda futura mayor que se tiene planificada.

Un ejemplo de este tipo de inventario son los productos que se tienen en bodega de un supermercado semanas antes a época navideña. Si se considera al recurso humano como un inventario, es el personal que se tiene para satisfacer demanda adicional en horarios pico del supermercado.

Clasificación de los modelos de inventario

Dado que el inventario representa altos costos para la organización, existen formas de gestionar cada uno de los diferentes tipos de inventario.

El inventario de trabajo es necesario para que fluya todo proceso, pues como ya se mencionó previamente, es considerado la “sangre vital” del proceso. El inventario de congestión es generado por la variabilidad, y por lo tanto, puede ser reducido mejorando la estabilidad del proceso. El inventario de anticipación es programado

mediante la planificación agregada y su visualización de cambios a largo plazo.

Para el caso del inventario de ciclo, existen modelos que permiten definir las cantidades de inventario a mantener dentro de un ciclo, así como la periodicidad del mismo. Igualmente, para el inventario de seguridad existen herramientas estadísticas, en la forma de intervalos de confianza, que permiten estimar una cantidad conveniente de inventario a mantener con el fin de aumentar la seguridad del proceso.

Los modelos de inventario de ciclo y de inventario de seguridad serán revisados en las secciones a continuación.

Modelos de inventario de ciclo

Los modelos de inventario de ciclo caracterizan la forma en que se comporta el inventario de productos de demanda independiente, es decir, de aquellos cuya demanda no depende de otro producto.

Estos modelos indican la cantidad que debe ser ordenada de cada producto, así como sus puntos de reposición. Los tres modelos de inventario de ciclo más importantes son:

1. Modelo de cantidad económica de pedido, EOQ por sus siglas en inglés (Economic Order Quantity)
2. Modelo de cantidad de pedido de producción, POQ por sus siglas en inglés (Production Order Quantity)
3. Modelo de descuentos por volumen

Modelo de cantidad económica de pedido EOQ

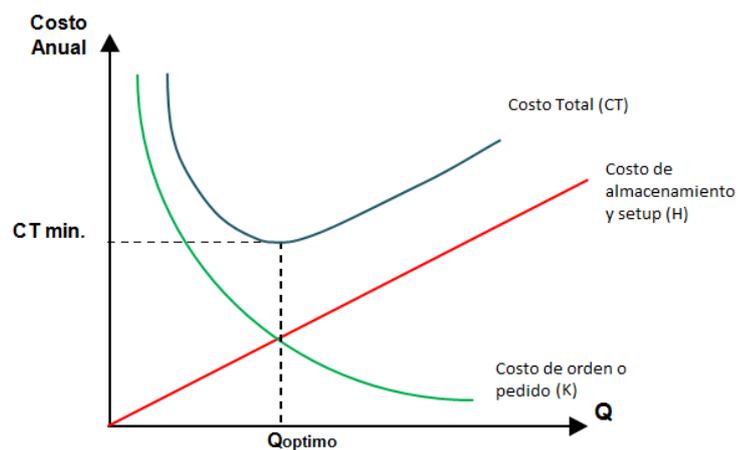
El modelo EOQ, tal como lo indica su nombre, busca determinar la cantidad en la que se deben realizar los pedidos de tal forma que el costo total sea el mínimo, es decir, la cantidad económica.

Este es uno de los modelos clásicos de la Investigación de Operaciones, y su propuesta data del año 1913 por Ford W. Harris.

A través de este modelo se minimizan los costos relacionados al inventario (almacenamiento, setup y orden), estableciendo una cantidad fija de pedido. Para esto, se establecen los siguientes supuestos del modelo:

1. La demanda del producto es constante.
2. El tiempo de entrega del producto es constante.
3. Los pedidos se reciben de manera inmediata en su totalidad.
4. Los precios son constantes.
5. Los costos de almacenamiento y setup son variables y dependen del número de unidades; y el costo de orden es fijo para cada orden.
6. Se considera un solo producto.

Para determinar la cantidad económica de pedido, el modelo primero establece una expresión para los costos totales, la cual será la suma de los costos de almacenamiento y setup más el costo de realizar los pedidos.



Fuente: Investigación de Operaciones II (3)

Figura 2.1 GRÁFICA DE COSTOS TOTALES DEL INVENTARIO

Gráficamente se puede apreciar que existe una cantidad Q para la cual los costos totales se minimizan, esta es la cantidad económica de pedido. Esta cantidad es también la cantidad para la cual los costos de almacenamiento y setup son iguales a los costos de pedido.

Para establecer la expresión que determina la cantidad económica de pedido, se tiene:

Q = Número de unidades por pedido

Q^* = Número económico de unidades por pedido (EOQ)

D = Demanda anual en unidades

K = Costo de pedido

H = Costo anual de almacenamiento y setup por unidad por año

Dado que la cantidad promedio de inventario será $Q/2$, el costo de almacenamiento y setup anual será:

$$\text{Costos de almacenamiento y setup} = \frac{Q}{2} \times H .$$

Además, el costo de los pedidos totales realizados en el año para satisfacer la demanda D en pedidos individuales de Q cantidades será:

$$\text{Costo de pedido} = \frac{D}{Q} \times K .$$

Por lo tanto, la expresión del costo total (CT) será:

$$CT = \frac{Q}{2} \times H + \frac{D}{Q} \times K .$$

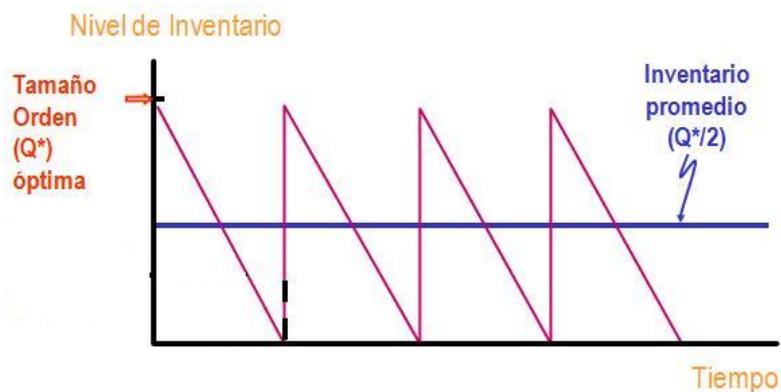
Utilizando el principio de la primera derivada para la minimización de $f(x)$, tal que $f = CT$, $x = Q$.

$$\text{Min CT}(Q): 0 = \frac{H}{2} - \frac{D}{Q^2} \times K .$$

Por tanto,

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{H}}$$

A través de esta expresión, el modelo EOQ propone que la reposición se realice en pedidos de Q^* unidades. De esta forma, con la demanda constante, el inventario se comportará tal como lo describe la gráfica:



Fuente: Datateca Unad (6)

Figura 2.2 NIVEL DE INVENTARIO EN EL TIEMPO EN UN MODELO EOQ

Finalmente, con la ayuda de las expresiones utilizadas anteriormente, el modelo puede brindar además información sobre tiempo entre reposición, número de órdenes en un periodo, costo total de inversión, entre otros, los cuales son de gran ayuda en la administración del inventario.

Este es un modelo sencillo que ha sido aplicado ampliamente en diferentes industrias. Sin embargo, bajo ciertas condiciones su aplicación puede verse limitada debido al número de suposiciones que se requieren cumplir. En estos casos, existen modelos alternos que eliminan ciertos supuestos.

Modelo de cantidad de pedido de producción (POQ)

El modelo POQ se basa en el supuesto de que, contrario a lo que se supone en el modelo EOQ, no todas las reposiciones de inventario se reciben de manera inmediata en su totalidad.

Este modelo asume que la reposición de un producto se realiza durante un periodo de tiempo a una tasa de reposición o producción constante, esa es la razón de su nombre. Los demás supuestos del modelo EOQ se mantienen.

Para determinar la cantidad económica de pedido de producción, se tiene:

Q = Número de unidades por orden

H = Costo anual de almacenamiento y setup por unidad por año

p = Tasa diaria de producción o reposición

d = Tasa diaria de demanda o consumo

t = Duración de la corrida de producción en días

Dado que la producción se realizará en pedidos de Q unidades a una tasa constante p de producción, el tiempo t de una corrida de producción será

$$t = \frac{Q}{p}.$$

Durante el proceso de reposición / producción, también hay consumo/demanda de unidades, por lo tanto, la cantidad máxima de

inventario será la diferencia entre el total producido en una corrida y el total consumido en una corrida.

$$\begin{aligned}
 \text{Inventario máximo} &= p \times t - d \times t . \\
 &= p \times \left(\frac{Q}{p}\right) - d \times \left(\frac{Q}{p}\right) . \\
 &= Q \left(1 - \frac{d}{p}\right) .
 \end{aligned}$$

Como se revisó en el modelo EOQ, la cantidad promedio de inventario equivale a la mitad del inventario máximo, por tanto el costo de almacenamiento y setup será:

$$\text{Costo almacenamiento y setup} = \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right) \times H .$$

Además, tal como en el modelo EOQ, el costo de los pedidos totales realizados en el año para satisfacer la demanda D en pedidos individuales de Q cantidades será:

$$\text{Costo de pedido} = \frac{D}{Q} \times K .$$

Por tanto, la expresión para el costo total (CT) será:

$$CT = \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p} \right) \times H + \frac{D}{Q} \times K .$$

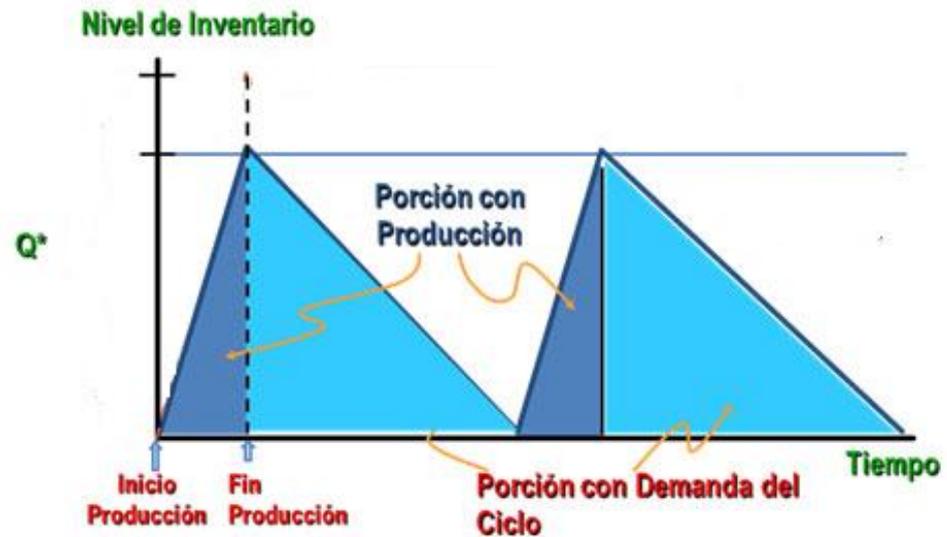
Utilizando el principio de la primera derivada para la minimización de $f(x)$, tal que $f = CT$, $x = Q$

$$\text{Min CT}(Q): 0 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{p} \right) \times H - \frac{D}{Q^2} \times K .$$

Por tanto,

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{H \left(1 - \frac{d}{p} \right)}} .$$

De esta forma, se esperará que el inventario se comporte tal como lo describe la siguiente gráfica:



Fuente: Díaz-Batista y Pérez-Armayor (1)

Figura 2.3 NIVEL DE INVENTARIO EN EL TIEMPO EN UN MODELO POQ

Al igual que un modelo EOQ, este modelo puede ser analizado para entregar más información relacionada al comportamiento del inventario, pero además tiene la flexibilidad de que describe un entorno en el cual la reposición no es inmediata, tal como sucede en la mayoría de ambientes manufactureros.

Modelo de cantidad de descuentos por volumen

En múltiples situaciones de la vida real las compras o reposiciones por volumen son sujetas a descuentos mientras mayor sea el

número de unidades. El modelo de cantidad de descuento por volumen responde a la interrogante de cuánto volumen es conveniente reponer de un inventario con tal de obtener un descuento.

En este caso, dentro de los costos a analizar también se debe considerar el costo total pagado por los productos. Para este análisis se tiene:

Q = Número de unidades por pedido

Q^* = Número económico de unidades por pedido (EOQ)

D = Demanda anual en unidades

K = Costo de pedido

H = Costo anual de almacenamiento y setup por unidad por año

P = Precio por unidad

Utilizando las mismas expresiones del modelo EOQ más el costo pagado por los productos, se tiene como expresión del costo total (CT):

$$CT = \frac{Q}{2} \times H + \frac{D}{Q} \times K + P \times Q.$$

Dado que en este modelo, el precio por unidad puede variar, también podrá variar el costo de almacenamiento y setup, pues muchas veces es expresado como un porcentual del precio de cada unidad.

Para poder manejar el hecho de que los precios y costos de almacenamiento son variables de acuerdo al número de unidades pedidas, el modelo se resuelve iterando los diferentes escenarios posibles, de la siguiente forma:

1. Para el primer descuento, se realiza el cálculo del Q^* de acuerdo al modelo EOQ tradicional, utilizando el precio (incluido el descuento) y el costo de almacenamiento correspondiente.

2. En caso de que el Q^* sea menor al número de unidades mínimas para obtener este descuento, Q^* se deberá ajustar a este mínimo.
3. Para este descuento, se calcula el costo total de acuerdo a la fórmula propuesta por el modelo de cantidad de descuentos por volumen.
4. Se repiten los pasos 1 al 3 para todos los posibles descuentos por rango de unidades.
5. Se comparan todos los costos totales, y se selecciona como cantidad de reposición el Q^* que genera el menor costo total.

A través de estos pasos, se puede realizar una evaluación de cómo se debe reponer el inventario, tomando en cuenta posibles descuentos por volumen.

Modelos de inventario de seguridad

Los modelos de inventario de seguridad se encargan de determinar las cantidades de inventario que se deben mantener para garantizar determinado nivel de servicio.

El nivel de servicio provisto por el inventario se define como la probabilidad de que cualquier orden en el tiempo sea satisfecha con el inventario existente.

Para establecer un inventario de seguridad, se modela la demanda durante un periodo de tiempo con una distribución estadística, generalmente la distribución normal. Se define, por tanto a la cantidad de inventario mínimo, o punto de reposición (ROP, por sus siglas en inglés) como:

$$\text{ROP} = \mu + \text{SS} .$$

Donde

μ : Media de la distribución de la demanda

SS: Stock de seguridad

Para definir el stock de seguridad, se toma en cuenta la variabilidad de la demanda, así como el nivel de servicio esperado, el cual se representa por un percentil de la distribución normal:

$$SS = z\sigma .$$

Donde

z: Percentil de la distribución normal de la demanda

σ : Desviación estándar de la demanda

La fórmula revisada responde como solución a un inventario de seguridad básico, en el cual se toma en cuenta únicamente la demanda en un periodo y un factor de seguridad para garantizar el servicio en el mismo. Este principio puede ser integrado junto con la lógica de ciclos de reposición revisados en la sección anterior, y se podrán tener nuevos modelos, los cuales se basan en la revisión (en ciclos, utilizando un EOQ básico), y además con un inventario de seguridad:

1. Modelo de revisión periódica
2. Modelo de revisión continua

Una conclusión importante sobre el estudio del modelo de inventario de seguridad, radica en que, para reducir el nivel de inventario adicional, y por tanto los costos asociados, se debe reducir: a) el nivel de servicio; o b) la variabilidad de la demanda. Lógicamente, en pocas situaciones es recomendable disminuir el nivel de servicio, aunque su revisión si es importante para determinar los posibles ahorros; por otro lado, para reducir la variabilidad de la demanda, es recomendable gestionar formas de estabilizarla o mejorar los pronósticos.

2.5. Decisiones sobre el inventario

Como se pudo revisar a profundidad en la sección anterior, el inventario tiene fuertes efectos sobre el desempeño financiero y operacional de un proceso, debido a los costos que representa y a los recursos que provee, respectivamente.

Se revisó también cómo existen varios modelos de inventario que pueden ayudar a la planificación de cualquier proceso, para mejorar sus resultados.

El administrador de cualquier proceso debe tomar decisiones acertadas sobre cómo manejar el inventario, usando cualquiera de las herramientas existentes. En caso de que el inventario no se maneje correctamente, podría suceder:

- Pérdida de ventas por no existencia de productos / capacidad para generar servicios.
- Producción no adecuada de acuerdo a estándares.
- Incremento en los costos operacionales por inventarios excesivos.

Dados estos posibles efectos, se debe realizar gestión sobre cómo se maneja el inventario, para garantizar el mejor desempeño posible del proceso. Las decisiones que se pueden tomar sobre el inventario, se pueden clasificar en dos grandes grupos: decisiones sobre la reposición y decisiones sobre el costo.

Decisiones sobre la reposición del inventario

- Tamaño de orden de reposición
- Número de órdenes de reposición
- Stock de seguridad
- Tiempo de entrega de los pedidos
- Planificación de los procesos

Decisiones sobre el costo del inventario

- Selección de proveedores
- Tamaño de orden de acuerdo a política de descuentos por cantidad
- Tipo de flete / logística de entrega

El primer grupo de decisiones se relacionan a la gestión operacional del proceso, mientras que el segundo grupo se enfoca a la gestión comercial / financiera del mismo. Para el presente estudio, se tomarán en cuenta únicamente las decisiones operacionales, puesto que se tendrá como supuesto que las decisiones comerciales ya se encuentran en un punto óptimo.

2.6. Aplicaciones de los modelos de inventario

Los modelos de inventario se pueden aplicar ampliamente en diferentes situaciones de la industria de manufactura y servicios. Serán los encargados de ayudar en la toma de decisiones operacionales sobre cómo manejar el inventario.

De acuerdo a las decisiones operacionales que se revisaron en la sección anterior, la aplicación de los modelos de inventario se encargará de responder:

- ¿Cuántas unidades debe de tener el lote de reposición?
- ¿Cuántas reposiciones se deben realizar en un periodo?
- ¿Se debe mantener algún stock de seguridad?
- ¿Cuál debe ser el tiempo de entrega de los pedidos?
- ¿Cómo planificar las variables anteriores de forma sincronizada para el proceso?

La forma en que los modelos de inventario pueden responder estas preguntas con facilidad y garantizar la adecuada ejecución de los procesos, ha hecho que su aplicación sea ampliamente adoptada.

Ejemplos de aplicación de modelos de inventario pueden ser encontrados en plantas de manufactura, estaciones de gasolina, cadenas logísticas de transporte, suministros en hospitales, productos en exhibición en tiendas de venta, sistemas de equipajes en aerolíneas, capacidades de atención en procesos de servicio, y más.

El marco teórico revisado en este capítulo servirá de apoyo para la formulación de un modelo de inventario que permita establecer cómo se debe realizar la contratación de personal operativo en una organización, de forma que se garantice la operación dentro de estándares al menor costo.

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO DEL MODELO

Para establecer un modelo de contratación de personal, en el presente capítulo se define la función objetivo del mismo, así como los supuestos y alcances del modelo. Para esto, previamente se selecciona un modelo de inventario como un modelo base, de acuerdo al marco teórico revisado en el capítulo 2. Posteriormente, se definen a detalle todas las variables involucradas y se finaliza planteando formalmente el modelo.

3.1. Planteamiento de la función objetivo del modelo

Un modelo de optimización es la representación de una situación de la realidad a través de lenguaje matemático, para indicar cómo se comportan entidades dentro de un sistema, y cómo se puede llegar a un nivel deseado, o punto óptimo.

Para desarrollar el modelo de política de contratación de personal es necesario describir la situación actual o problema que va a ser resuelto por el modelo; además, se debe formular la función objetivo que describa la situación ideal a la cual se quiere llegar a través de la utilización de este modelo. En las secciones siguientes se discuten ambos temas.

Descripción de la situación actual

Como se describió en el capítulo 1, el presente trabajo se centra en el estudio de la situación que enfrentan las organizaciones que requieren de personal operativo para cumplir cierto nivel de operación, pero se enfrentan a la rotación de personal, que disminuye constantemente la cantidad de capacidad operacional disponible. Además, se tiene el inconveniente de que el personal requiere entrenamiento especializado que sólo es brindado por la

organización, el cual tiene alto costo y es de larga duración, tal como sucede en: instituciones militares, aerolíneas, bancos, empresas de servicios con procedimientos especializados, entre otros; lo cual limita a que el personal deba ser incorporado a la organización en lotes o grupos de cierto tamaño, dados los altos costos de capacitación.

Adicional a la operación, la empresa debe destinar capacidad operativa al cumplimiento de otras actividades, las cuales involucran vacaciones, días de ausentismo, capacitación recurrente, entre otras; las cuales fueron definidas como el factor de dotación en el capítulo 2.

El reto al que se enfrentan las organizaciones es determinar la cantidad ideal de personal a contratar, de tal forma que se pueda cubrir la operación más las actividades adicionales por factor de dotación, tomando en cuenta la disminución constante de personal por la rotación; pero sin generar costos adicionales.

Función objetivo del modelo

El fin de utilizar una política de contratación basada en un modelo de inventario es la reducción de los costos totales incurridos, por tanto, la función objetivo debe ser en función de los costos de contratación y mantenimiento de personal:

$$\text{Min: } Z = \text{Costo Total} = \\ \text{Costo contratación} + \text{Costo mantenimiento personal} .$$

Adicionalmente, el modelo debe de garantizar el cumplimiento de la operación, por tanto, siendo Q_i la cantidad de personal Q en el momento i , se plantea una restricción con respecto al número mínimo de personal.

Sujeto a:

$$\forall i \quad Q_i \geq Q_{\text{operacional}} .$$

Dado que las actividades no operacionales que conforman el factor de dotación se realizan en los periodos con holgura de capacidad

operacional, el cumplimiento al 100% de las actividades no operacionales no será incluido como una restricción, sino que será uno de los indicadores de desempeño del modelo. El factor de dotación si formará parte del diseño del modelo, pero la eficiencia con la que el modelo logre generar holguras para estas actividades a través del tiempo será uno de los indicadores de desempeño.

Bajo este análisis, se define que el modelo propuesto debe de tener como objetivo la minimización de costos totales, sujeto a garantizar la operación y con un dimensionamiento orientado al cumplimiento de actividades no operacionales.

3.2. Selección del modelo de inventario base

Para proponer un modelo que rijan la política de contratación, se propone tomar como base del mismo un modelo de inventario ya existente. De acuerdo a lo revisado en el capítulo 2, existen múltiples modelos de inventario, los cuales varían según su aplicación específica o profundidad de estimación.

Tomando en cuenta la situación de reposición de personal que se está estudiando, se analizan las ventajas y desventajas para simularla que presentan cada uno de los modelos de inventario revisados:

TABLA 2: ANÁLISIS DE MODELOS DE INVENTARIO PARA SELECCIÓN DE MODELO BASE PARA LA POLÍTICA DE CONTRATACIÓN

Modelo	Ventajas	Desventajas
EOQ	- Describe perfectamente la forma de contratación del personal en grupos grandes a través de la cantidad económica de pedido.	- Considera a la reducción de inventario como un proceso determinístico.
Cantidad de pedido de producción	- No se identifican ventajas, pues este modelo considera a la reposición como un proceso continuo y no en lotes.	- No describe el comportamiento esperado del personal.
Descuentos por volumen	- Presenta una posible optimización: reducción del	- La optimización se puede

	costo de compra de inventario. Sin embargo, es una optimización que cambia la forma de gestionar el personal, y por tanto el problema planteado es diferente.	conseguir únicamente en el costo de compra y no el costo de mantenimiento de inventario, por tanto el modelo no se ajusta.
Modelos con inventario de seguridad	- Puede describir una situación más realista al tomar en cuenta la variabilidad del proceso, y permite ajustarse con otro modelo.	- Se requiere la adaptación con otro modelo.

Elaborado por: Silva (2014)

El modelo EOQ resulta muy adecuado para tomar como base, pues representa con gran éxito la forma en que se comportaría el personal operacional: se integra a la organización en grupos grandes, y luego se reduce poco a poco; sin embargo falla al

declarar que este es un proceso que se comporta de manera determinística.

En el caso del modelo de cantidad de pedido de producción, este no logra adecuarse a la situación en estudio, pues el modelo se basa en que el inventario se repone poco a poco durante el periodo de producción. En la situación que se está estudiando, el inventario en forma de personal se integra en intervalos discretos a la organización.

Con respecto al modelo de descuentos por volumen, el mismo describe una posible eficiencia que puede ser obtenida parcialmente en la situación en estudio: lograr descuentos en el costo de contratación (costo de compra de inventario), mas no en los costos de mantenimiento del inventario (costo de salario) para lograr.

El principio de los modelos con inventario de seguridad es efectivo para describir la variabilidad que podría existir en el comportamiento del personal como un inventario, sin embargo se requiere la adaptación del inventario de seguridad con otro modelo de

inventario para brindar una solución completa a una situación compleja.

De acuerdo a lo revisado, se sugiere la utilización de un modelo EOQ clásico o un modelo EOQ con inventario de seguridad, como modelo base para definir el modelo de política de contratación de personal.

3.3. Formulación de supuestos y alcance del modelo

Para el planteamiento de un modelo es necesaria la selección de ciertos supuestos, así como la definición de un alcance dentro del cual el modelo sea válido. De acuerdo a la situación en estudio descrita, se determinan los siguientes supuestos y alcance de validez del modelo:

- Se considera que en el mercado laboral existe suficiente oferta de mano de obra apta para entrar al proceso de entrenamiento y posteriormente a la organización.

- Los procesos de entrenamiento y contratación tienen largos tiempos de duración, fijos y además no presentan retrasos.
- Los procesos de entrenamiento y contratación tienen costos fijos (incurridos cada vez que se activa un proceso: anuncios en diarios, costos de instructor, infraestructura, entre otros) y variables (incurridos por cada colaborador entrenado y contratado: certificación de documentos, alimentación, beneficios, pagos, entre otros).
- Durante el tiempo en el que se evalúa la reposición de personal, se estima que los costos se mantienen constantes. Esto quiere decir que los efectos macroeconómicos del entorno se consideran de magnitud despreciables frente a las cantidades en análisis.
- Durante el tiempo en el que se evalúa la reposición de personal, se estima que el nivel de operación de la organización es estable, así como la productividad de cada colaborador y el factor de dotación; esto es, que el número requerido de personal es constante durante el tiempo.

- Las actividades que componen el factor de dotación pueden ser planificadas con flexibilidad en épocas donde exista holgura de personal, y pueden ser restringidas en épocas de escasez de personal.
- El modelo indica la cantidad y el momento correcto de contratación; no determina cuál es el personal correcto.

Con las condiciones mencionadas, se establecen los supuestos y alcance dentro de los cuales el modelo es válido.

3.4. Definición de las variables involucradas en el modelo

Previo al planteamiento formal del modelo, es necesario realizar una definición de todas las variables involucradas en el mismo, y a la vez hacer una revisión de cada una de los conceptos existentes en la situación de estudio, y su respectiva equivalencia en un modelo tradicional de inventario.

TABLA 3: COMPARACIÓN DE VARIABLES DE UN MODELO CLÁSICO DE INVENTARIO CON VARIABLES DE UN MODELO DE POLÍTICA DE CONTRATACIÓN

Modelo clásico de inventario	Modelo de política de contratación	Justificación
Inventario	Personal	La definición del personal como un inventario es la base teórica del modelo.
Demanda de inventario	Rotación de personal	La rotación de personal, como la demanda genera que el personal se reduzca continuamente.
Costo de almacenamiento	Costo de salarios y beneficios al personal	Al mantener personal en la organización, se incurren en costos de salarios.
Costo de orden	Costo fijo de contratación	El costo de activar cada proceso de reclutamiento, selección y contratación puede ser

		definido como un costo de orden.
Costo de setup	Costo fijo de entrenamiento	El costo de entrenar al personal para que sea capaz de ser inventario productivo puede ser definido como el costo de setup en la línea de producción.
Inventario de trabajo	Personal requerido operacionalmente	El personal que se debe mantener en todo momento en inventario para poder mantener operando la organización equivale a un inventario de trabajo.
Inventario de ciclo	Personal de reposición	La cantidad del personal que se repone constantemente dado que se reduce por la rotación, puede ser

		definida como el inventario de ciclo.
Inventario de seguridad	Personal de mano obra de seguridad	La cantidad del personal que se mantiene en inventario para asegurar cualquier cambio o variabilidad en la rotación es el inventario de seguridad.

Elaborado por: Silva (2014)

3.5. Planteamiento formal del modelo

Según el análisis realizado previamente, el modelo de política de contratación de personal debe ser basado en un modelo de inventario EOQ clásico o con inventario de seguridad.

Tomando dicha alternativa, se propone la construcción del modelo de política de contratación de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Sea Q_{op} la cantidad de personal requerido operacionalmente

2. Con un factor de dotación FD, la cantidad de personal requerido Q_{req} se define:

$$Q_{req} = \frac{Q_{op}}{(1-FD)} .$$

3. Con una rotación del personal con media anual μ y desviación estándar σ , garantizando un nivel de confianza NC (se define como servicio el hecho de tener siempre la cantidad de personal requerido para operar) con el estadístico z, el stock de seguridad se define:

$$\text{Stock de seguridad (SS)} = z * \sigma .$$

Este cálculo aplica para un modelo EOQ con stock de seguridad. En caso de que se desee aplicar un EOQ clásico, este paso se debe omitir. Según como se desee controlar el sistema, este stock de seguridad se puede colocar en el lead time, en el punto de reposición, en la cantidad de reposición, etc.

4. Se calcula la cantidad económica de pedido de acuerdo al modelo EOQ y la equivalencia con factores de recursos humanos planteados:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{H}} .$$

Donde

D = Rotación de personal en un periodo

K = Costo fijo de contratación y entrenamiento

H = Costo de salario y beneficios del personal en un periodo

5. Se define cantidad mínima posible de inventario de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q_{\min} = \text{Máx} \left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{req}} - \frac{Q^*}{2} \\ Q_{\text{op}} \end{array} \right\} .$$

6. Esta Q mínima sirve como criterio para la fijación del punto de reposición, sin embargo, si se desea utilizar un modelo basado en EOQ clásico sin inventario de seguridad, Q mínima es el punto de reposición de Q* cantidades.

Para definir el criterio de cantidad mínima, se efectuó el siguiente análisis:

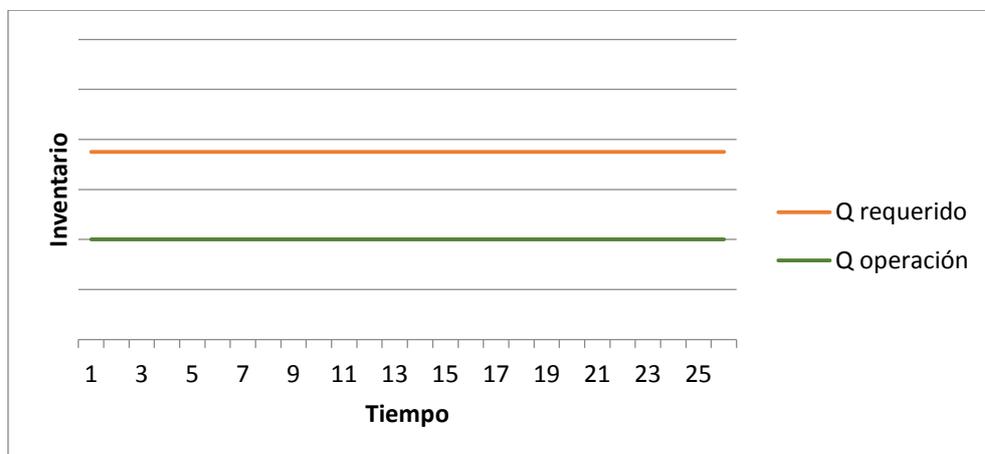
Se tiene una cantidad de personal Q_{op} que es la que se necesita para la operación. Dado que no se quiere comprometer la operación, el nivel de personal nunca deberá ser menor a esta cantidad.



Elaborado por: Silva (2014)

Figura 3.1 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (I)

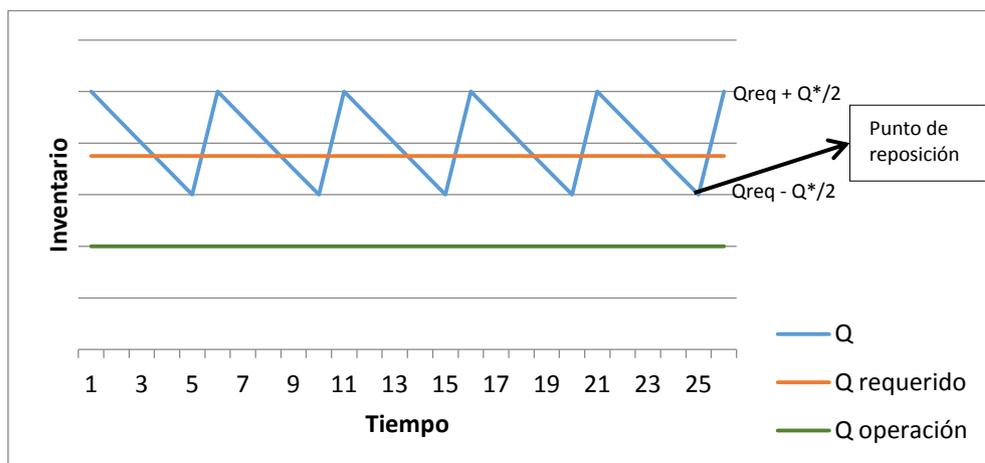
De acuerdo al factor de dotación, se estima que la cantidad total de personal necesaria para atender la operación y todas las actividades no operacionales son equivalentes a la cantidad Q_{req} . Esta es la cantidad de personal que se debería tener en todo momento.



Elaborado por: Silva (2014)

Figura 3.2 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (II)

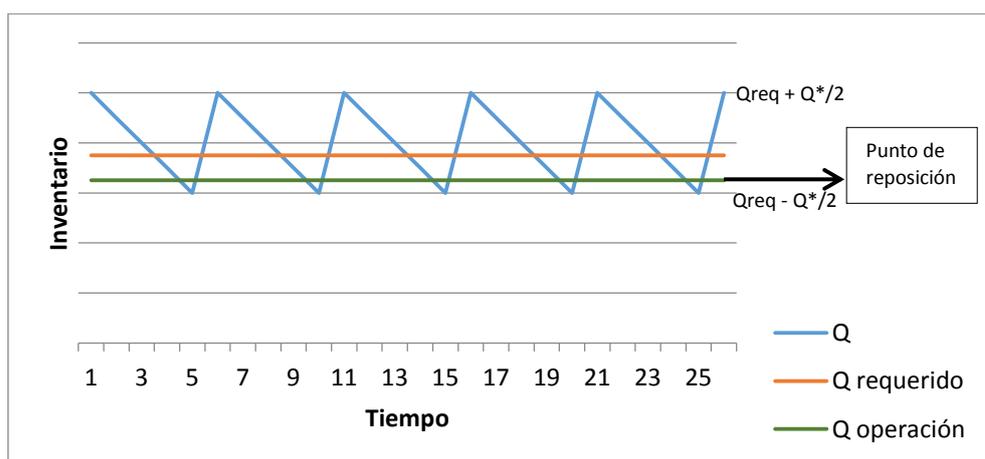
Según el modelo EOQ, si se tiene un inventario que oscila entre 0 y Q^* , cuya cantidad de reposición es Q^* , el inventario promedio para cualquier periodo va a ser igual a $Q^*/2$. Por tanto, para poder lograr que el inventario promedio de personal disponible sea igual a Q_{req} , la reposición tendrá como media Q_{req} y el inventario oscilará en el rango $Q_{req} \pm Q^*/2$.



Elaborado por: Silva (2014)

Figura 3.3 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (III)

En determinadas situaciones, el factor de dotación puede ser de pequeña magnitud, de tal forma que el nivel de personal requerido sea próximo al personal de operación, y el punto $Q_{\text{req}} - Q^*/2$ quede debajo del nivel Q_{op} .



Elaborado por: Silva (2014)

Figura 3.4 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE Q MÍNIMA (IV)

Dada esta situación, para evitar que la cantidad de personal llegue a ser menor que el nivel de personal requerido para operar, se selecciona como Q_{\min} al máximo entre $Q_{\text{req}} - Q^*/2$ y Q_{op} . De esta forma se da cumplimiento a la restricción planteada

$$\forall i \quad Q_i \geq Q_{\text{operacional}} .$$

Con respecto a la función objetivo, el modelo lograr incluir su función objetivo dentro de la optimización del modelo EOQ:

$$\text{Min: } Z = \text{Costo Total} =$$

$$\text{Costo contratación} + \text{Costo mantenimiento personal} .$$

Este modelo planteado sirve como un modelo basado en EOQ clásico, sin embargo, para un modelo basado en EOQ con stock de seguridad, se propone hacer ciertas adaptaciones.

En el caso de un EOQ con stock de seguridad, para lograr manejar la variabilidad del proceso, además de la implementación de un stock de seguridad, se propone que uno de los criterios de

reposición (cantidad o periodo) se mantenga fijo, mientras el otro se adapta continuamente de acuerdo a la situación del sistema. De esta forma, se tienen dos posibles modelos adicionales: EOQ de periodo fijo, y EOQ de cantidad fija.

Con esta metodología propuesta, el modelo queda formalmente planteado, para que sea utilizado en situaciones que se ajusten al problema en estudio.

CAPÍTULO 4

4. VALIDACIÓN DEL MODELO

El presente capítulo se centra en validar el modelo propuesto en este trabajo, de acuerdo al problema en estudio definido. Tomando como base la propuesta formal del modelo realizada en el capítulo 3, se escoge a la simulación como método de validación del mismo.

Para realizar la simulación, primero se definen indicadores de desempeño que sean capaces de medir qué tan bien se comporta el modelo de acuerdo a su fin: costo total incurrido y cumplimiento de la operación. Luego de esto, se establecen valores para las diferentes

variables, de tal forma que se pueda simular un caso práctico con el modelo.

Para lograr esto, se seleccionan modelos de control y se simulan bajo condiciones similares al modelo para, luego de corridas experimentales, poder definir cuál es el modelo con mejor desempeño.

4.1. Planteamiento de la metodología de validación a través de simulación

Un modelo de optimización es la representación de una situación de la realidad a través de lenguaje matemático, para indicar cómo se comportan entidades dentro de un sistema, y cómo se puede llegar a un nivel deseado, o punto óptimo.

Se utiliza la simulación pues es una herramienta útil para estudiar un modelo como el propuesto, que a pesar de que se plantea bajo el supuesto de una demanda estable, se desea poner a prueba en condiciones simuladas de la realidad, es decir, demanda variable.

Para validar el modelo, esto es, verificar qué tan bien logra optimizar costos en un escenario real, se plantea simular un

escenario en donde se generen salidas de personal de forma aleatoria de acuerdo a la distribución definida.

Este método de validación permite además comparar el modelo propuesto con modelos alternos en situaciones similares, así como realizar distintas corridas y ver cómo se comporta un mismo modelo con diferentes parámetros.

4.1.1. Definición de indicadores de desempeño del modelo

El principal atractivo de poder utilizar simulación para validar el modelo de contratación de personal es el poder realizar varias corridas experimentales bajo situaciones controladas, y comparar cómo se comportan diferentes modelos en situaciones iguales.

Para poder discernir y comparar de forma más eficaz entre diferentes modelos, se propone definir indicadores de desempeño para el modelo, los cuales deben indicar qué tan bien el modelo se ajusta al fin para el cual fue diseñado.

El modelo fue diseñado para que la política de contratación se realice de forma económica, tomando en cuenta los costos de contratación y los costos de mantener inventario. De acuerdo a la función de costo total que se definió en el planteamiento del modelo, se tiene que:

$$\text{Costo Total} = \\ \text{Costo contratación} + \text{Costo mantenimiento personal} .$$

Esta función de costo total será el primer indicador de desempeño del modelo. Mientras menor sea el costo, mejor desempeño tiene el modelo.

El modelo está diseñado también de tal forma que logre generar holguras suficientes para cumplir las actividades no operacionales requeridas para el personal.

Dado que el inventario en un modelo EOQ se comporta de manera periódica con niveles altos y bajos de inventario, los

niveles altos se utilizan para compensar la poca capacidad de ejecutar actividades no operacionales cuando se tiene un nivel bajo de inventario. Por tanto, el cumplimiento de actividades no operacionales debe ser evaluado en un intervalo amplio de tiempo, de tal forma que existan niveles de inventario tanto altos como bajos y se pueda hacer una evaluación justa.

Se propone realizar la evaluación para un año, pues en la planificación de RRHH los programas de capacitación, vacaciones, y demás actividades no operacionales se planifican de forma anual. Es así como se tiene el segundo indicador de desempeño del modelo, que mide el cumplimiento de las actividades no operacionales dentro de un año.

Sea:

Q_i la cantidad de personal disponible en el mes i de un año

Q_{op} la cantidad de personal requerida para la operación

$$\text{Cumplimiento actividades no operacionales} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{op} - Q_i}{\sum_{i=1}^{12} Q_i}}{FD}$$

Este indicador está expresado en forma porcentual, es decir, qué porcentaje del total de la capacidad no operacional requerida se logra disponibilidad para el cumplimiento de dichas actividades. Un modelo con buen desempeño tendrá un valor cercano a 100% o superior.

4.2. Selección de los criterios para simulación de las variables

Para realizar la simulación de un caso práctico en el cual aplicar el modelo de contratación de personal, es necesario definir valores para todas las variables involucradas en el modelo.

Los valores pueden ser modificados para verificar cómo se comporta el modelo en diferentes situaciones, sin embargo se proponen los siguientes parámetros para un escenario inicial:

TABLA 4: VALORES DE LAS VARIABLES EN EL ESCENARIO INICIAL DE SIMULACIÓN

Variable	Valor
Q operacional	300 personas
Factor de dotación (FD)	10%
Rotación esperada anual	Distribución normal $\mu = 35$ personas $\sigma = 5$ personas
Nivel de confianza (NC)	95%
Costo de contratación y entrenamiento	\$50.000
Costo anual de salario y beneficios por persona	\$11.400
Lead time (Tiempo de duración de un proceso de selección y entrenamiento)	2 meses

Elaborado por: Silva (2014)

Los valores corresponden a una situación hipotética, sin embargo, son una estimación con sentido de los valores que se esperaría tener en una situación real del problema planteado.

4.3. Simulación

La simulación del modelo de contratación de personal en diferentes escenarios se realiza a través de la formulación de las políticas de reposición en el software Microsoft Excel 2010.

Se utiliza la simulación de tipo Montecarlo, para la generación de números aleatorios, los cuales van a simular las salidas de personal de acuerdo a la distribución definida como escenario inicial.

El modelo de simulación realiza la reposición de personal de acuerdo al criterio formulado y finalmente, con la información de los parámetros del escenario, se calculan los indicadores de desempeño.

Dado que al utilizar una política de contratación como esta los ahorros se ven en el largo plazo, la simulación se realiza con un horizonte de 5 años para tener suficiente visibilidad sobre el comportamiento del modelo.

4.3.1. Definición de modelos de control

Para lograr un discernimiento adecuado sobre qué tan bueno es el desempeño del modelo propuesto, se utilizan modelos de control, los cuales son modelos alternos que se simulan en condiciones similares al modelo propuesto, y sirven de comparación.

En este caso, se utilizará como modelo de estudio el modelo propuesto con un EOQ clásico, y se utilizarán como modelos de control a los dos modelos adicionales propuestos con stock de seguridad: EOQ de periodo fijo, y EOQ de cantidad fija. Adicionalmente, se propone poner como un tercer modelo de control a una política de reposición empírica, para poner en contraste una situación que podrían estar experimentando en la actualidad ciertas organizaciones.

Los modelos de control parten del modelo basado en un EOQ clásico que se propuso en el capítulo 3, sin embargo, cada uno de estos modelos tiene adaptaciones particulares, las cuales se detallan a continuación.

EOQ de periodo fijo

En este modelo se propone que la integración de personal sea en periodos fijos, de tal forma que se facilita la planificación de los equipos de RRHH en cuanto a capacitación y reclutamiento, pues se conoce de antemano el tiempo en el que se deberá desarrollar cada actividad para integrar nuevo personal a la organización.

Para la incorporación de un stock de seguridad, la reposición de inventario o contratación de personal se hace en cada periodo fijo hasta llegar a un punto de inventario máximo definido.

El detalle de esta adaptación, se presenta a continuación:

1. Una vez calculado Q^* según el modelo con EOQ clásico, se calcula el periodo de reposición T , tomando en cuenta la demanda media D

$$T = \frac{Q^*}{D} .$$

2. En este modelo, la reposición se realizará en Q^{**} unidades, que equivale a la suma del stock de seguridad (SS) más la cantidad económica de pedido Q^*

$$Q^{**} = Q^* + SS .$$

3. Se definen los referenciales máximo y mínimo de inventario, para que el inventario promedio sea igual a Q requerido.

$$\text{Máximo} = Q_{\text{req}} + \frac{Q^{**}}{2} .$$

$$\text{Mínimo} = Q_{\text{req}} - \frac{Q^{**}}{2} .$$

4. En caso de que Q_{op} sea mayor al punto mínimo, para no comprometer la operación, se define a Q_{op} como el

punto mínimo, y al punto máximo con la siguiente fórmula:

$$\text{Máximo} = Q_{op} + Q^{**} .$$

5. Dado que este es un modelo de reposición de periodo fijo, la reposición se realizará en periodos de intervalo T, en cantidades tales que repongan el inventario hasta el punto máximo.

EOQ de cantidad fija

En este modelo se propone que la contratación de personal o reposición de inventario se haga siempre en una cantidad fija, una vez que se llegue a un punto de reposición determinado, el cual contiene un stock de seguridad para evitar que haya un quiebre de stock o falta de fuerza laboral.

Este mecanismo presenta la facilidad en que se conoce con certeza cuál es la cantidad de personal que se debe reclutar

para cada proceso de contratación, una vez que este es activado.

El detalle de esta adaptación, se presenta a continuación:

1. Se calcula la Q^* de reposición, así como la Q_{\min} de acuerdo al modelo basado en EOQ clásico.
2. Se define el punto de reposición ROP, de acuerdo a una demanda D , un Lead Time LT y un stock de seguridad SS .

$$ROP = Q_{\text{mínima}} + LT + SS .$$

3. La reposición de personal se realiza en cantidades Q^* , y se solicita un proceso de contratación de duración LT , cada vez que la cantidad de personal alcanza un nivel ROP o menor.

Modelo empírico

Este modelo sirve de comparación simulando una situación de una organización en la cual la contratación de personal no se realiza de acuerdo a un mayor análisis de costos totales, sino que, simplemente se realiza por criterio.

Para la contratación de personal, cada vez que se repone personal se deja una holgura con respecto al Q requerido, para lograr amortiguar los efectos de la rotación de personal. Por otro lado, para realizar la contratación de personal se espera a que la cantidad de fuerza laboral disponible esté por debajo de del Q requerido, pero encima del Q operacional, pues no se debe parar la operación.

Dado que se busca modelar una reposición hecha por criterio sujeta a errores, se propone que el porcentaje de inventario que se deja en exceso en cada reposición sea menor al porcentaje de inventario faltante que se espera tener para realizar reposición.

De esta forma se representa la precaución que podrían correr las organizaciones al no querer contratar personal, y además

esperar a que haga falta mucho personal para iniciar un proceso de contratación, por temor a incurrir en costos excesivos.

El detalle de este modelo se presenta a continuación:

1. Se define el porcentaje de holgura en la contratación de personal, así como el porcentaje de escasez para generar una reposición, de tal forma que:

$$\% \text{Holgura} < \% \text{Escasez} .$$

2. Tomando como referencia la cantidad de personal requerido Q_{req} , se definen los puntos mínimos y máximos de personal.

$$\text{Máximo} = Q_{\text{req}} * (1 + \% \text{Holgura})$$

$$\text{Mínimo} = Q_{\text{req}} * (1 - \% \text{Escasez})$$

3. Con estos parámetros, la contratación de personal se realiza cada vez que el nivel de personal alcanza el punto mínimo, y se repone hasta alcanzar el punto máximo.

4.3.2. Corridas experimentales

Una vez definido el modelo a simular, así como los modelos de control, es necesario construir los diferentes escenarios a simular, así como determinar el número de réplicas de cada escenario con el fin de ejecutar las corridas experimentales.

En la sección 4.2 se definió un escenario base, de acuerdo a valores esperados para una organización hipotética. Con el fin de estudiar a mayor profundidad cómo se comporta el modelo de contratación de personal en diferentes escenarios, se propone definir dos escenarios adicionales en los cuales se modifique la relación entre los costos de contratación y mantenimiento de personal, pues dichos costos son determinantes en el cálculo de la cantidad económica de pedido.

Manteniendo fijo el costo anual de mantenimiento de un empleado en la organización (\$11.400), se propone realizar escenarios en los cuales el costo de contratación sea menor, similar y mayor que el costo de mantenimiento, para analizar cómo se comporta el EOQ en los diferentes escenarios.

TABLA 5: COSTOS DE CONTRATACIÓN PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE SIMULACIÓN.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Costo de contratación	\$50.000	\$10.000	\$300.000

Elaborado por: Silva (2014).

Por otro lado, para determinar el número de réplicas a realizar en cada uno de los escenarios, se realiza una estimación del tamaño de muestra recomendado de acuerdo a la dispersión de los resultados, el nivel de confianza esperado y el error aceptable.

En cada simulación, el resultado a analizar son los indicadores de desempeño: costo total, y cumplimiento de actividades no operacionales. Se realizaron 30 corridas para obtener los parámetros de cálculo del tamaño de muestra.

Para ambos casos, se tomó un nivel de confianza del 95% para el estadístico z y un error (e) del 5%.

Para el caso del costo total, se calculó el tamaño de muestra de una población infinita. Para esto, se calculó la desviación estándar σ del costo en magnitud $\times 10^5$ dólares, y se utilizó la fórmula:

$$n = \left(\frac{z \cdot \sigma}{e} \right)^2 .$$

El n obtenido fue 30.

Para el caso del cumplimiento de actividades no operacionales se calculó el tamaño de muestra de una proporción, pues este indicador representa una proporción. Para esto, se calculó la proporción promedio (p) de todas las corridas, y se utilizó la fórmula:

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{e^2} .$$

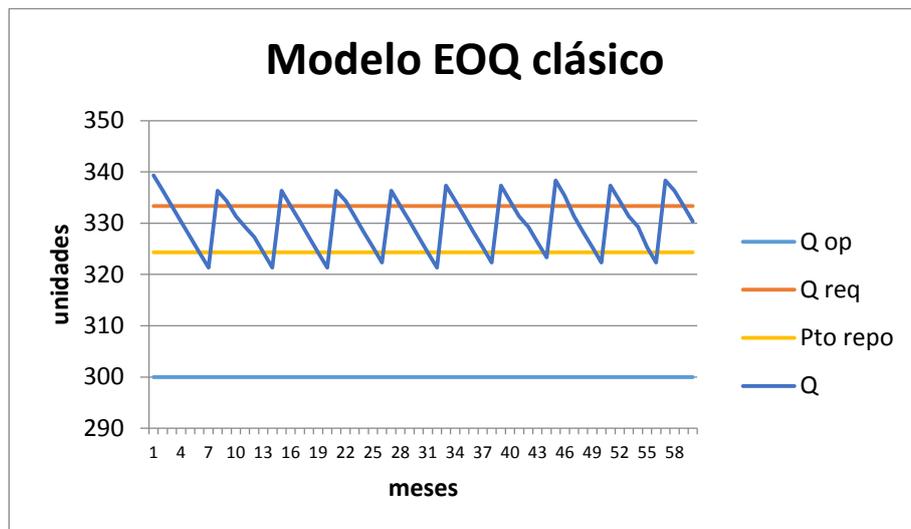
El n obtenido fue 43.

Por tanto, se definió que para cada uno de los escenarios se deben realizar 43 réplicas, pues es el tamaño de muestra que satisface a las dos condiciones.

4.3.3. Validación de resultados de simulación

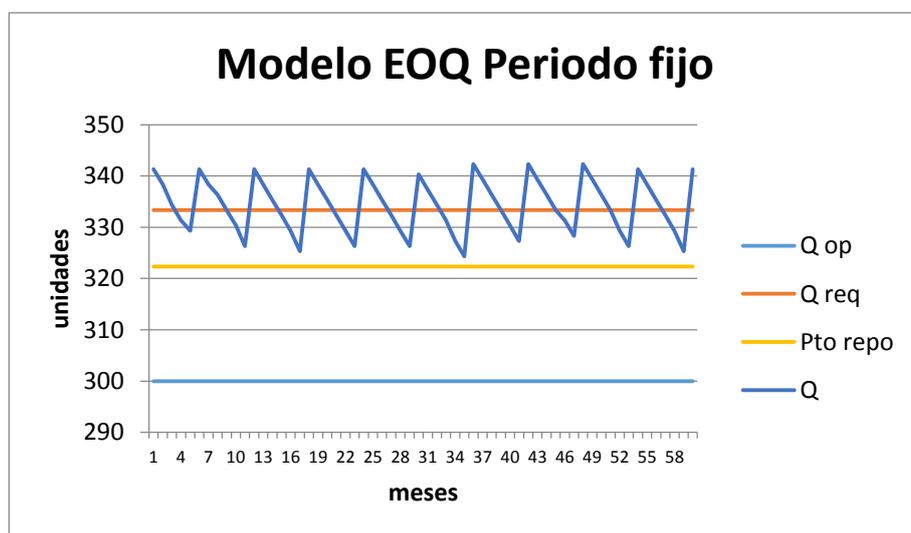
Una vez realizados los modelos de simulación en Microsoft Excel, se realiza una validación general de los resultados y el modelo, para verificar que el modelo en conjunto lograr describir la situación deseada de la realidad.

Para esto, se realizan gráficas de inventario que permiten observar cómo se comporta el nivel de inventario a través del tiempo. En el caso del modelo en estudio y los tres modelos de control, claramente se puede observar que el inventario se comporta de la forma esperada.



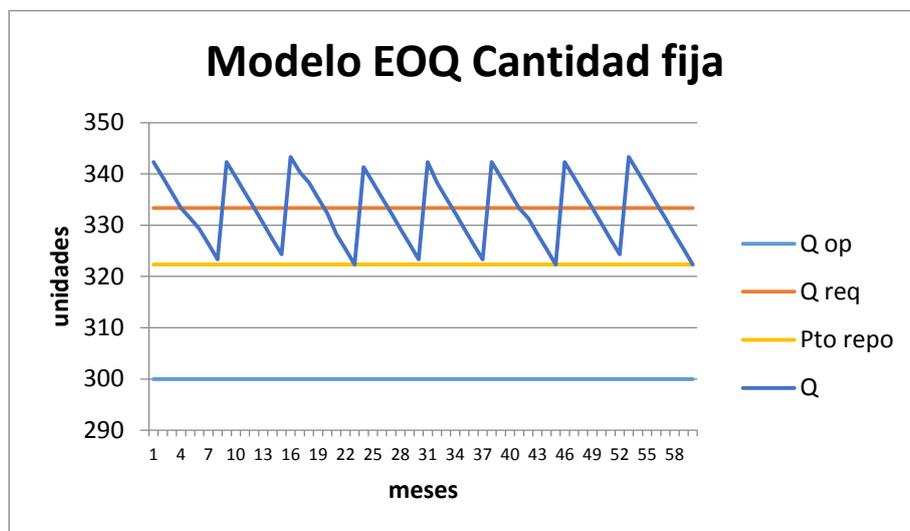
Elaborado por: Silva (2014).

Figura 4.1 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EOQ CLÁSICO.



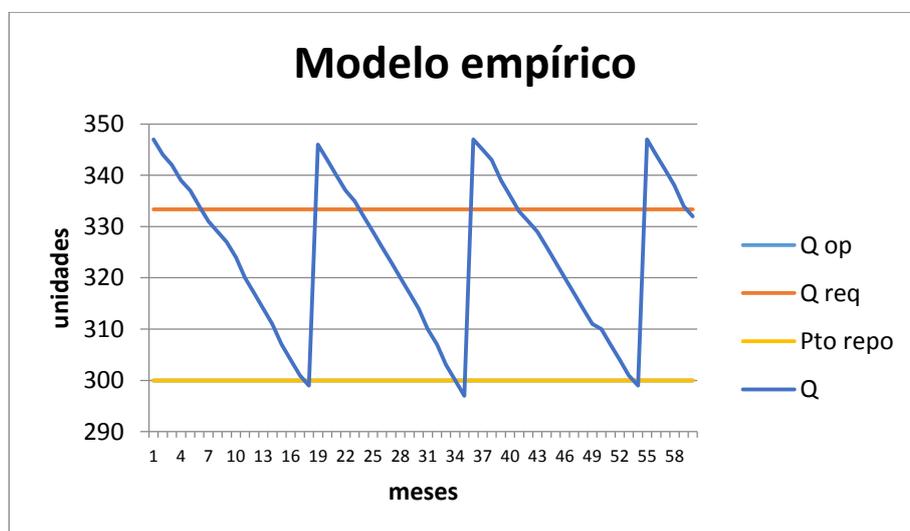
Elaborado por: Silva (2014).

Figura 4.2 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EOQ DE PERIODO FIJO.



Elaborado por: Silva (2014).

Figura 4.3 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EOQ DE CANTIDAD FIJA.



Elaborado por: Silva (2014).

Figura 4.4 SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAL CON UN MODELO EMPÍRICO.

Una vez que el modelo en estudio y los modelos de control son validados, es posible realizar las corridas experimentales de acuerdo a los parámetros definidos, y obtener los resultados para su posterior análisis.

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1. Análisis de indicadores de desempeño del modelo

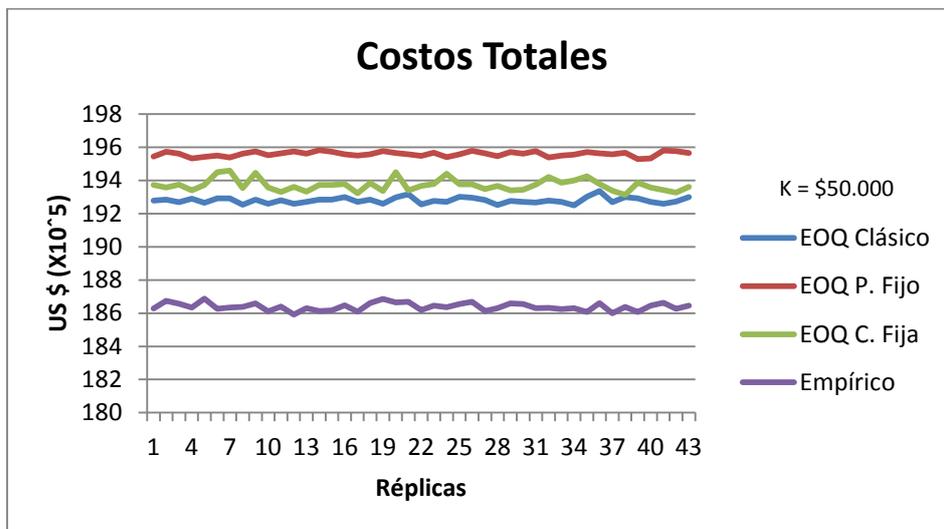
Con la simulación de varias réplicas de los diferentes escenarios para cada uno de los modelos, es posible obtener información sobre cómo se comportan los indicadores de desempeño para el modelo en estudio, así como los modelos de control.

Para el análisis, se propone graficar de forma conjunta los resultados de la simulación de todos los modelos, y repetir esta

gráfica para cada escenario propuesto. De esta forma se logra que cada gráfica contraste el desempeño de cada uno de los modelos. Los resultados detallados de las réplicas de simulación se incluyen en la sección de apéndices.

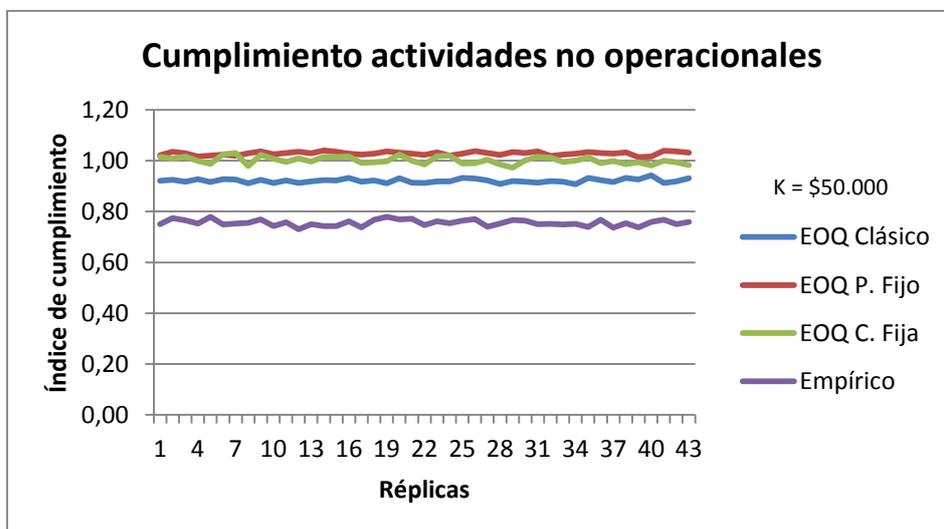
En el escenario inicial, el cual define que el costo de contratación tiene un valor medio ($K=\$50.000$), se puede observar que, el modelo en estudio EOQ clásico tiene un costo menor a los otros dos modelos de control, sin tomar en cuenta el modelo empírico, cuyo costo es muy inferior. Sin embargo, el cumplimiento de actividades no operacionales no es lo suficientemente alto para el modelo EOQ clásico, así como el modelo empírico.

Se observa que, el modelo EOQ de cantidad fija es el modelo que logra cumplir las actividades no operacionales del personal a un costo menor.



Elaborado por: Silva (2014).

Figura 5.1 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 1.

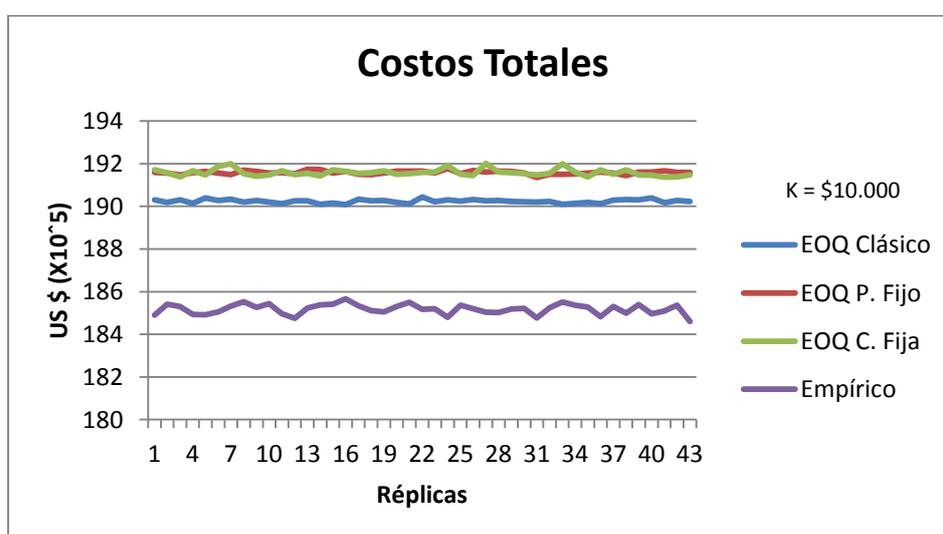


Elaborado por: Silva (2014).

Figura 5.2 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES NO OPERACIONALES DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 1.

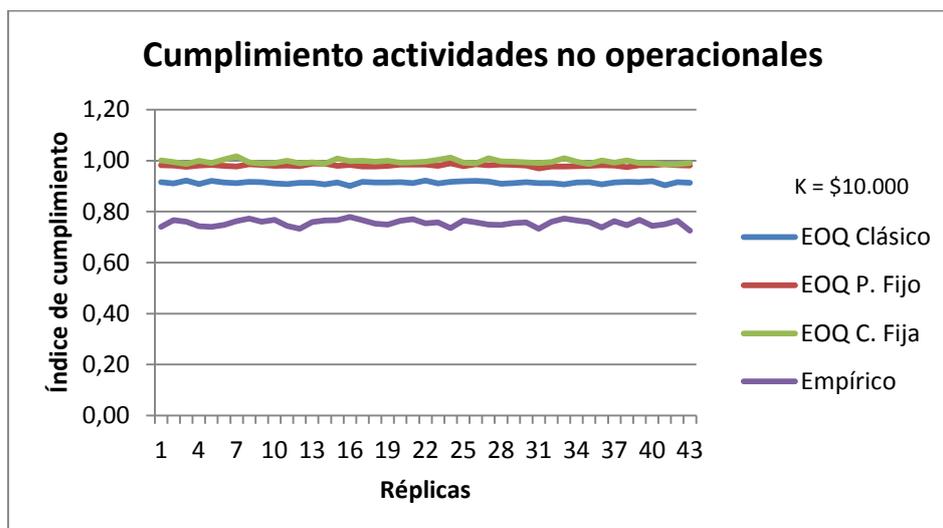
En el segundo escenario, en el cual se plantea un costo de contratación bajo ($K=\$10.000$), el modelo EOQ clásico y el modelo empírico continúan teniendo costos bajos junto con un incumplimiento de las actividades no operacionales.

En este escenario llama la atención que para los modelos de periodo fijo y de cantidad fija, tanto los costos y el cumplimiento de actividades no operacionales son similares; es decir, los modelos tienen desempeño similar.



Elaborado por: Silva (2014).

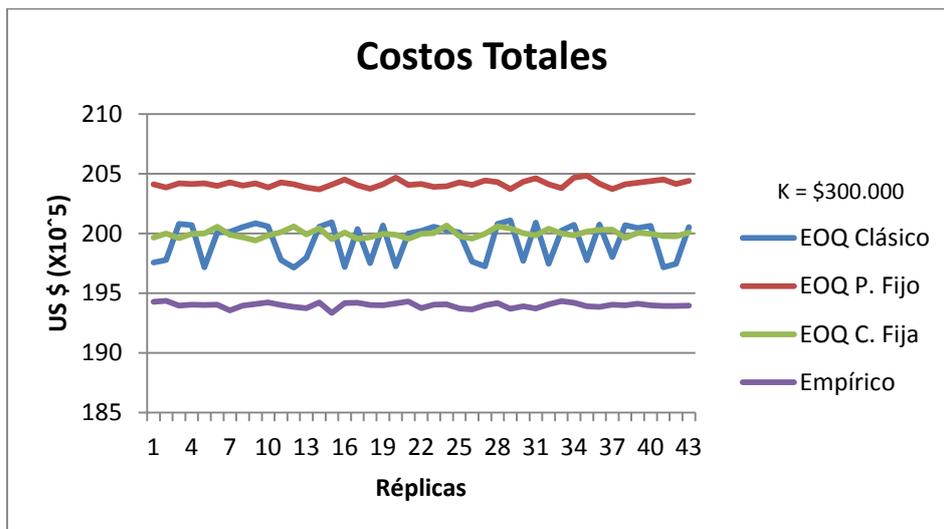
Figura 5.3 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 2.



Elaborado por: Silva (2014).

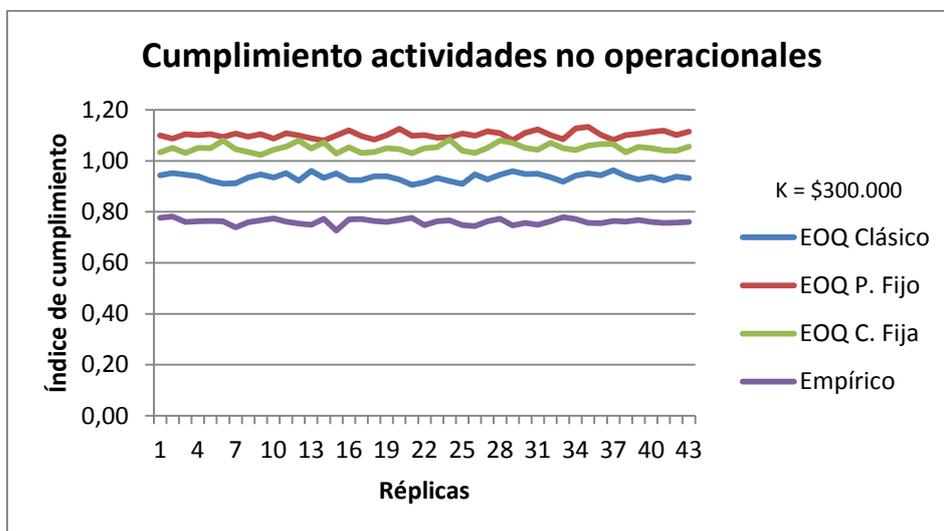
Figura 5.4 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES NO OPERACIONALES DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 2.

En el tercer escenario, con un costo alto de contratación ($K=\$300.000$), se observa que el modelo EOQ clásico tiene un costo similar con el EOQ de cantidad fija; sin embargo, este último modelo si logra cumplir las actividades no operacionales, a diferencia del EOQ clásico.



Elaborado por: Silva (2014).

Figura 5.5 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 3.



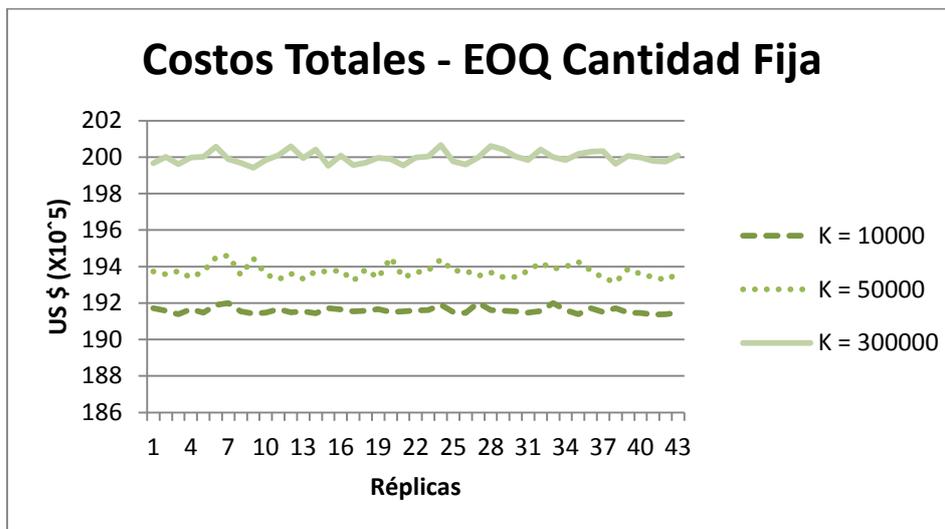
Elaborado por: Silva (2014).

Figura 5.6 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES NO OPERACIONALES DE LOS DIFERENTES MODELOS EN ESCENARIO 3.

Tomando en cuenta los tres escenarios, el modelo EOQ de cantidad fija se puede escoger como el modelo más robusto, pues tiene el mejor desempeño en los tres casos.

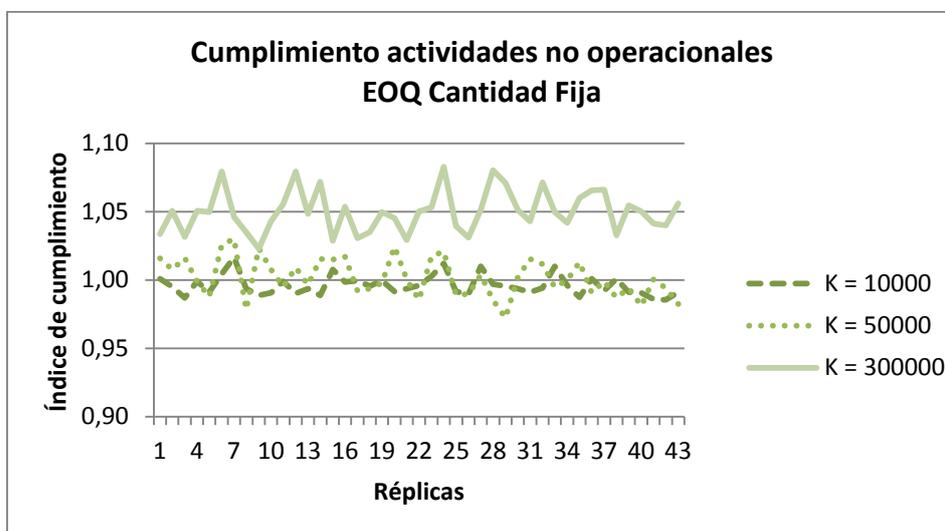
Al comparar los resultados de este modelo en los diferentes escenarios se observa que, mientras mayor es el costo de contratación de personal K , mayor será el costo total incurrido en el sistema.

De igual forma, se puede apreciar que, en el escenario con costo de contratación alto, se generan holguras excesivas para el cumplimiento de actividades no operacionales, es decir, un cumplimiento mayor al 100% requerido.



Elaborado por: Silva (2014).

Figura 5.7 COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DEL MODELO EOQ DE CANTIDAD FIJA EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS.



Elaborado por: Silva (2014).

Figura 5.8 COMPARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DEL MODELO EOQ DE CANTIDAD FIJA EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS.

5.2. Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo apreciar que:

- El modelo de contratación basado en un EOQ clásico, al no contar con un stock de seguridad, tiene un costo menor que aquellos modelos que si lo tienen, sin embargo, dada la variabilidad de las salidas de personal, este modelo no es capaz de cumplir al 100% las actividades no operacionales del personal.
- La política de contratación con un modelo empírico logra tener los costos más bajos, pues el criterio de reposición que define a este modelo es esperar a que haya una escasez significativa de personal para generar un proceso de contratación, el mismo que se realiza en cantidades restringidas. De esta forma, se logra reducir significativamente los costos en contratación y mantenimiento de personal, pero el indicador de cumplimiento de actividades operacionales, también es muy bajo.
- El modelo de contratación basado en un EOQ con cantidad fija tiene un buen desempeño en términos de costo, así como el cumplimiento

- de actividades no operacionales. Este buen desempeño del modelo puede ser atribuido a su stock de seguridad, y al hecho de que todos los procesos de contratación de personal se realizan en un número igual a la cantidad económica de pedido calculada.

- El modelo de contratación basado en un EOQ con periodo fijo es el más elevado en cuanto a costos. Esto se atribuye a los costos de contratación, pues al ser un modelo de periodo fijo, tendrá un número mayor de procesos de contratación que los otros modelos.

- De acuerdo a la comparación hecha con el cumplimiento de las actividades no operacionales del modelo EOQ de cantidad fija, se aprecia que, con un costo elevado de contratación, se generan niveles de holguras de personal.

5.3. Conclusiones

1. Es posible desarrollar un modelo de inventario que rija como política de contratación de personal en una organización, de tal forma que se logren reducir los costos totales incurridos y se cumplan las actividades no operacionales requeridas por el personal.
2. Los principios teóricos de la administración del inventario sirven para plantear un modelo de inventario que rija la contratación del personal en una organización.
3. El modelo EOQ con stock de seguridad se ajusta adecuadamente para modelar la política de contratación en una organización.
4. Por medio de la simulación, se puede recrear adecuadamente la forma en que se comportará el número de personal disponible en una organización, de acuerdo a ciertos parámetros.
5. El hecho de reemplazar una política empírica de contratación de personal con una basada en un modelo de inventario, puede

representar en la organización una mejora en costos o en indicadores de personal, o incluso en ambos.

6. Para lograr eficiencia en costos y no generar holguras innecesarias, se recomienda a las organizaciones que los costos de contratación y selección de personal sean optimizados frecuentemente, pues de esa forma se logra una capacidad de respuesta más rápida y económica a la reposición del personal.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Resultados de corridas de simulación (K = \$10.000)

Costos Totales K = \$10.000					Cumplimiento K = 10.000				
Corrida	EOQ Clásico	EOQ P. Fijo	EOQ C. Fija	Empírico	Corrida	EOQ Clásico	EOQ P. Fijo	EOQ C. Fija	Empírico
1	190,30	191,60	191,71	184,89	1	0,92	0,98	1,00	0,74
2	190,19	191,56	191,58	185,42	2	0,91	0,98	1,00	0,77
3	190,31	191,47	191,38	185,30	3	0,92	0,98	0,99	0,76
4	190,14	191,58	191,66	184,94	4	0,91	0,98	1,00	0,74
5	190,39	191,64	191,47	184,92	5	0,92	0,98	0,99	0,74
6	190,27	191,56	191,89	185,05	6	0,91	0,98	1,00	0,75
7	190,33	191,49	192,00	185,33	7	0,91	0,98	1,02	0,76
8	190,20	191,69	191,53	185,53	8	0,92	0,99	0,99	0,77
9	190,28	191,64	191,42	185,27	9	0,92	0,98	0,99	0,76
10	190,20	191,56	191,47	185,45	10	0,91	0,98	0,99	0,77
11	190,13	191,58	191,67	184,97	11	0,91	0,98	1,00	0,74
12	190,27	191,54	191,48	184,75	12	0,91	0,98	0,99	0,73
13	190,26	191,74	191,55	185,23	13	0,91	0,99	0,99	0,76
14	190,10	191,73	191,43	185,38	14	0,91	0,99	0,99	0,77
15	190,16	191,56	191,72	185,41	15	0,91	0,98	1,01	0,77
16	190,08	191,63	191,64	185,67	16	0,90	0,98	1,00	0,78
17	190,33	191,50	191,55	185,34	17	0,92	0,98	1,00	0,77
18	190,26	191,49	191,57	185,10	18	0,91	0,98	1,00	0,75
19	190,27	191,56	191,66	185,05	19	0,91	0,98	1,00	0,75
20	190,19	191,65	191,51	185,31	20	0,92	0,98	0,99	0,76
21	190,11	191,66	191,54	185,49	21	0,91	0,98	0,99	0,77
22	190,44	191,65	191,60	185,17	22	0,92	0,98	1,00	0,75
23	190,21	191,56	191,61	185,20	23	0,91	0,98	1,00	0,76
24	190,30	191,77	191,91	184,79	24	0,92	0,99	1,01	0,74
25	190,25	191,53	191,50	185,36	25	0,92	0,98	0,99	0,77
26	190,32	191,68	191,45	185,20	26	0,92	0,99	0,99	0,76
27	190,26	191,61	192,01	185,04	27	0,92	0,98	1,01	0,75
28	190,27	191,65	191,61	185,03	28	0,91	0,98	1,00	0,75
29	190,22	191,64	191,57	185,18	29	0,91	0,98	1,00	0,76
30	190,22	191,57	191,53	185,22	30	0,92	0,98	0,99	0,76
31	190,20	191,35	191,48	184,76	31	0,91	0,97	0,99	0,73
32	190,23	191,50	191,55	185,25	32	0,91	0,98	0,99	0,76
33	190,09	191,50	192,00	185,52	33	0,91	0,98	1,01	0,77
34	190,15	191,52	191,61	185,37	34	0,91	0,98	1,00	0,77
35	190,19	191,56	191,39	185,28	35	0,92	0,98	0,99	0,76
36	190,12	191,62	191,71	184,83	36	0,91	0,98	1,00	0,74
37	190,29	191,56	191,50	185,30	37	0,91	0,98	0,99	0,76
38	190,31	191,44	191,71	184,99	38	0,92	0,97	1,00	0,75
39	190,30	191,61	191,48	185,40	39	0,92	0,98	0,99	0,77
40	190,40	191,62	191,46	184,97	40	0,92	0,98	0,99	0,74
41	190,17	191,67	191,36	185,10	41	0,90	0,99	0,99	0,75
42	190,28	191,60	191,39	185,36	42	0,92	0,98	0,99	0,76
43	190,24	191,59	191,48	184,60	43	0,91	0,98	0,99	0,72

APÉNDICE B

Resultados de corridas de simulación (K = \$50.000)

Costos Totales K = \$50.000					Cumplimiento K = 50.000				
Corrida	EOQ Clásico	EOQ P. Fijo	EOQ C. Fija	Empírico	Corrida	EOQ Clásico	EOQ P. Fijo	EOQ C. Fija	Empírico
1	192,79	195,44	193,74	186,28	1	0,92	1,02	1,02	0,75
2	192,85	195,74	193,58	186,74	2	0,92	1,04	1,01	0,77
3	192,70	195,61	193,75	186,56	3	0,92	1,03	1,02	0,76
4	192,91	195,33	193,40	186,33	4	0,93	1,02	1,00	0,75
5	192,65	195,42	193,73	186,88	5	0,92	1,02	0,99	0,78
6	192,93	195,50	194,51	186,27	6	0,93	1,02	1,03	0,75
7	192,92	195,39	194,60	186,33	7	0,93	1,02	1,03	0,75
8	192,55	195,61	193,53	186,37	8	0,91	1,03	0,98	0,76
9	192,85	195,76	194,46	186,59	9	0,93	1,04	1,02	0,77
10	192,59	195,53	193,58	186,12	10	0,91	1,03	1,01	0,74
11	192,81	195,64	193,30	186,40	11	0,92	1,03	1,00	0,76
12	192,60	195,75	193,61	185,92	12	0,91	1,04	1,01	0,73
13	192,72	195,61	193,33	186,29	13	0,92	1,03	1,00	0,75
14	192,84	195,83	193,74	186,13	14	0,92	1,04	1,02	0,74
15	192,84	195,74	193,73	186,16	15	0,92	1,04	1,01	0,74
16	193,00	195,58	193,79	186,48	16	0,93	1,03	1,02	0,76
17	192,71	195,50	193,22	186,09	17	0,92	1,02	0,99	0,74
18	192,85	195,58	193,85	186,62	18	0,92	1,03	0,99	0,77
19	192,60	195,78	193,36	186,86	19	0,91	1,04	1,00	0,78
20	192,98	195,66	194,49	186,65	20	0,93	1,03	1,02	0,77
21	193,17	195,57	193,41	186,68	21	0,91	1,03	1,00	0,77
22	192,57	195,48	193,68	186,18	22	0,91	1,02	0,99	0,75
23	192,77	195,67	193,79	186,47	23	0,92	1,03	1,02	0,76
24	192,72	195,41	194,40	186,36	24	0,92	1,02	1,02	0,75
25	193,02	195,58	193,77	186,56	25	0,93	1,03	0,99	0,76
26	192,96	195,79	193,77	186,68	26	0,93	1,04	0,99	0,77
27	192,83	195,64	193,49	186,12	27	0,92	1,03	1,00	0,74
28	192,51	195,46	193,68	186,31	28	0,91	1,02	0,99	0,75
29	192,77	195,72	193,41	186,60	29	0,92	1,03	0,97	0,77
30	192,70	195,63	193,44	186,56	30	0,92	1,03	1,00	0,76
31	192,67	195,76	193,76	186,29	31	0,91	1,04	1,02	0,75
32	192,78	195,39	194,21	186,33	32	0,92	1,02	1,01	0,75
33	192,71	195,51	193,87	186,25	33	0,92	1,02	0,99	0,75
34	192,50	195,57	194,00	186,30	34	0,91	1,03	1,00	0,75
35	193,02	195,71	194,26	186,08	35	0,93	1,03	1,01	0,74
36	193,37	195,64	193,79	186,61	36	0,92	1,03	0,99	0,77
37	192,69	195,58	193,38	186,00	37	0,92	1,03	1,00	0,74
38	193,00	195,68	193,13	186,37	38	0,93	1,03	0,99	0,75
39	192,92	195,29	193,87	186,07	39	0,93	1,01	0,99	0,74
40	192,70	195,33	193,59	186,45	40	0,94	1,02	0,98	0,76
41	192,60	195,80	193,41	186,63	41	0,91	1,04	1,00	0,77
42	192,73	195,77	193,27	186,26	42	0,92	1,04	0,99	0,75
43	193,00	195,65	193,62	186,46	43	0,93	1,03	0,98	0,76

APÉNDICE C

Resultados de corridas de simulación (K = \$300.000)

Costos Totales K = \$300.000					Cumplimiento K = 300.000				
Corrida	EOQ Clásico	EOQ P. Fijo	EOQ C. Fija	Empírico	Corrida	EOQ Clásico	EOQ P. Fijo	EOQ C. Fija	Empírico
1	197,58	204,12	199,67	194,28	1	0,94	1,10	1,03	0,78
2	197,78	203,86	200,02	194,38	2	0,95	1,09	1,05	0,78
3	200,81	204,22	199,61	193,97	3	0,95	1,10	1,03	0,76
4	200,69	204,14	199,99	194,04	4	0,94	1,10	1,05	0,76
5	197,16	204,22	200,01	194,03	5	0,92	1,10	1,05	0,76
6	200,10	203,98	200,58	194,06	6	0,91	1,09	1,08	0,76
7	200,14	204,28	199,89	193,55	7	0,91	1,11	1,05	0,74
8	200,56	204,01	199,67	193,96	8	0,93	1,09	1,03	0,76
9	200,86	204,22	199,42	194,10	9	0,95	1,10	1,02	0,77
10	200,61	203,86	199,84	194,22	10	0,93	1,09	1,04	0,77
11	197,80	204,29	200,11	194,01	11	0,95	1,11	1,06	0,76
12	197,15	204,12	200,59	193,85	12	0,92	1,10	1,08	0,75
13	197,98	203,87	199,94	193,76	13	0,96	1,09	1,05	0,75
14	200,58	203,69	200,43	194,22	14	0,93	1,08	1,07	0,77
15	200,94	204,11	199,52	193,34	15	0,95	1,10	1,03	0,73
16	197,20	204,54	200,09	194,17	16	0,92	1,12	1,05	0,77
17	200,38	204,05	199,56	194,20	17	0,92	1,10	1,03	0,77
18	197,53	203,75	199,70	194,02	18	0,94	1,08	1,03	0,76
19	200,69	204,13	199,97	193,99	19	0,94	1,10	1,05	0,76
20	197,25	204,69	199,89	194,15	20	0,93	1,13	1,05	0,77
21	200,01	204,09	199,55	194,31	21	0,91	1,10	1,03	0,78
22	200,21	204,14	199,98	193,74	22	0,92	1,10	1,05	0,75
23	200,57	203,92	200,04	194,04	23	0,93	1,09	1,05	0,76
24	200,31	203,96	200,67	194,08	24	0,92	1,09	1,08	0,77
25	200,08	204,28	199,77	193,74	25	0,91	1,11	1,04	0,75
26	197,67	204,09	199,59	193,66	26	0,95	1,10	1,03	0,74
27	197,27	204,45	199,99	194,00	27	0,93	1,12	1,05	0,76
28	200,82	204,31	200,61	194,19	28	0,95	1,11	1,08	0,77
29	201,12	203,71	200,43	193,70	29	0,96	1,08	1,07	0,75
30	197,70	204,34	200,04	193,92	30	0,95	1,11	1,05	0,76
31	200,92	204,64	199,84	193,73	31	0,95	1,12	1,04	0,75
32	197,47	204,13	200,42	194,06	32	0,94	1,10	1,07	0,76
33	200,26	203,80	200,00	194,34	33	0,92	1,09	1,05	0,78
34	200,74	204,70	199,84	194,20	34	0,94	1,13	1,04	0,77
35	197,76	204,84	200,17	193,92	35	0,95	1,13	1,06	0,76
36	200,75	204,19	200,29	193,85	36	0,94	1,10	1,07	0,76
37	198,04	203,73	200,33	194,04	37	0,96	1,08	1,07	0,76
38	200,71	204,13	199,63	194,00	38	0,94	1,10	1,03	0,76
39	200,46	204,25	200,07	194,12	39	0,93	1,11	1,05	0,77
40	200,65	204,40	199,99	193,98	40	0,94	1,11	1,05	0,76
41	197,18	204,53	199,78	193,93	41	0,92	1,12	1,04	0,76
42	197,48	204,16	199,76	193,93	42	0,94	1,10	1,04	0,76
43	200,55	204,43	200,10	193,97	43	0,93	1,11	1,06	0,76

BIBLIOGRAFÍA

1. Díaz-Batista, José A. and Dania Pérez-Armayor. "Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro.".
2. HOPP, WALLACE J. Supply Chain Science. Waveland Press, 2008.
3. Investigación de Operaciones II.
<<http://invdeoperacionesdos.blogspot.com/2011/02/modelo-eoq-sin-faltantes.html>>.
4. KPMG. 10 Pasos para la planificación estratégica de la fuerza laboral.
< <http://www.kpmg.com/global/en/services/advisory/management-consulting/people-change/pages/strategic-workforce-planning.aspx>>.
5. RENDER, BARRY and JAY HEIZER. Principios de Administración de Operaciones. Prentice Hall, 1997.
6. UNAD. Datateca.
<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/104561/Metodos_Probabilisticos_2013/MODULO_2013_ACTUALIZADO/leccin_7_modelo_de_inventarios_eoq.html>.