

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CONTROL DE  
INVENTARIOS EN UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO UTILIZANDO  
SIMULACIÓN**

**JAVIER ANDRÉS ARIAS RENDÓN  
DANIEL FERNANDO GONZALÉZ PIEDRAHITA**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA LUMEN GENTIUM  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2015**

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CONTROL DE  
INVENTARIOS EN UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO UTILIZANDO  
SIMULACIÓN**

**JAVIER ANDRÉS ARIAS RENDÓN  
DANIEL FERNANDO GONZALÉZ PIEDRAHITA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Industrial**

**DIRECTOR:  
CLAUDIA CRISTINA BOCANEGRA HERRERA  
Magister en Ingeniería Industrial**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA LUMEN GENTIUM  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2015**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Industrial

\_\_\_\_\_  
ING. GUILLERMO A. FONSECA

Jurado

\_\_\_\_\_  
ING. MALCON RODRÍGUEZ

Jurado

Santiago de Cali, 02 de Diciembre de 2015

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres que con su apoyo incondicional fueron fuente de energía e inspiración para recorrer el camino hacia las metas propuestas.

Dedicado de forma especial a Héctor Javier Arias Ramírez, que mediante su esfuerzo, sacrificio y compromiso hizo posible el logro de este sueño para uno de nosotros, dando fiel ejemplo que la responsabilidad y las ganas de brindar un mejor futuro es suficiente motivación para alcanzar lo que se quiere sin importar las dificultades que se presenten, haciéndolo siempre con humildad y sin pasar por encima de ninguna persona.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a Dios por darnos la vida y permitirnos cada día despertarnos con una motivación para salir al mundo a afrontar las diferentes circunstancias que este presenta, brindándonos los recursos necesarios para que hoy seamos mejores que ayer.

A nuestras familias por su comprensión y acompañamiento durante todo el proceso, quienes fundamentaron los principios suficientes para nuestro desarrollo como personas, estudiantes y ahora como futuros profesionales.

A los directores de programa por la gestión realizada, y su disposición por siempre tratar de tener una respuesta a las situaciones presentadas.

A la docente Claudia Cristina Bocanegra Herrera por su acompañamiento y ser nuestra guía durante todo el proceso, siendo sus palabras la clave para el inicio y desarrollo de este trabajo.

A todos los compañeros y compañeras que nos apoyaron e hicieron parte de alguna manera de esta aventura.

## CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
1 PROBLEMA	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 SISTEMATIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 JUSTIFICACIÓN	18
4 MARCO REFERENCIAL	20
4.1 MARCO CONTEXTUAL	20
4.2 ESTADO DEL ARTE	21
4.3 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	24
5 METODOLOGÍA	32
5.1 FASE 1. Definir sistemas de control, variables y parámetros que afectan al proveedor y los minoristas de la cadena de abastecimiento	33
5.2 FASE 2. Desarrollar un modelo de simulación de los sistemas de control de inventarios	34

5.3	FASE 3. Examinar el comportamiento de las variables seleccionadas en los eslabones de la cadena de abastecimiento, mediante un análisis de escenarios	35
6	DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL, VARIABLES Y PARÁMETROS	37
7	DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN	42
7.1	CASO HIPOTÉTICO O TEÓRICO	42
7.2	CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO	56
7.3	TRASLADO DEL MODELO Y VALIDACIÓN	63
8	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL CASO TEÓRICO	66
9	CONCLUSIONES	87
	REFERENCIAS	89
	ANEXOS	92
	ANEXO A. FALTANTES DE CADA ESLABÓN	92
	ANEXO B. ÓRDENES REALIZADAS POR CADA ESLABÓN	93

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Sistemas de control, variables y parámetros	41
Cuadro 2. Pronóstico de la demanda y lead time para el minorista 1	48
Cuadro 3. Pronóstico de la demanda y lead time para el minorista 2	50
Cuadro 4. Pronóstico de la demanda y lead time para el minorista 3	51
Cuadro 5. Pronóstico de la demanda y lead time para el proveedor	53
Cuadro 6. Valores de entrada o de los parámetros iniciales	56
Cuadro 7. Datos referentes para la validación	64
Cuadro 8. Escenarios basados en las posibles combinaciones	67
Cuadro 9. Parámetros fijados a partir de los modelos generales	68
Cuadro 10. CTR y días con faltantes de los minoristas	69
Cuadro 11. Alistamientos del proveedor	82
Cuadro 12. Resultados de la simulación (CTR)	83



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Demanda real minorista 1	44
Figura 2. Demanda real minorista 2	44
Figura 3. Demanda real minorista 3	44
Figura 4. Demanda real proveedor	45
Figura 5. Lead time minorista 1	45
Figura 6. Lead time minorista 2	46
Figura 7. Lead time minorista 3	46
Figura 8. Lead time proveedor	46
Figura 9. Pronóstico de la demanda para el minorista 1	48
Figura 10. Pronóstico del lead time para el minorista 1	49
Figura 11. Pronóstico de la demanda para el minorista 2	50
Figura 12. Pronóstico del lead time para el minorista 2	51
Figura 13. Pronóstico de la demanda para el minorista 3	52
Figura 14. Pronóstico del lead time para el minorista 3	52
Figura 15. Pronóstico de la demanda para el proveedor	53
Figura 16. Pronóstico del lead time para el proveedor	54
Figura 17. Proceso general del modelo de simulación	59
Figura 18. Diagrama de flujo de la formulación del modelo	60
Figura 19. Representación gráfica de los posibles escenarios	66
Figura 20. Nivel de inventario minorista 1	70
Figura 21. Costo total relevante minorista 1	71
Figura 22. Nivel de inventario minorista 2	72
Figura 23. Costo total relevante minorista 2	73
Figura 24. Nivel de inventario minorista 3	75
Figura 25. Costo total relevante minorista 3	75
Figura 26. Costo total relevante minoristas	76
Figura 27. Número de días con faltantes de los minoristas	77
Figura 28. Órdenes de minoristas	77

Figura 29. Costo total relevante para el nivel de minoristas	78
Figura 30. Costo total relevante para el proveedor	81
Figura 31. Costo de faltantes del proveedor	81
Figura 32. Costo órdenes del proveedor	84
Figura 33. Costo total relevante del sistema	85

## RESUMEN

Este trabajo presenta un modelo de simulación para analizar el efecto del uso de diferentes sistemas de control de inventarios en dos niveles de una cadena de abastecimiento. Los parámetros o condiciones de operación son basados en un caso generalizado hipotético o teórico; los modelos generales de inventarios determinan otros parámetros necesarios en el modelo para el análisis deseado, este análisis considera el efecto en el costo total relevante y nivel de servicio, tanto de cada eslabón como de los dos niveles; en esta cadena de abastecimiento el proveedor se encarga de la distribución de un producto X a tres minoristas. A través de la simulación en la computadora y el respectivo análisis, se encuentra que en algunas ocasiones se deben sacrificar algunos componentes sin utilizar el sistema de control que menor costo le genere, pero es la forma de que todos encuentren el beneficio como conjunto. Para el análisis se diseñan diferentes escenarios donde se combinan de muchas maneras los sistemas de control s,Q, R,S y s,S entre los cuatro eslabones de la cadena de abastecimiento, permitiendo encontrar que bajo las condiciones de operación el mejor escenario para la cadena de abastecimiento es aquel en el que los minoristas 1 y 2 operan con el sistema de control continuo s,S, el minorista 3 con s,Q, y el proveedor con el sistema de control s,Q, sistemas que si cambian afectan las variables de decisión analizadas. La demanda y el tiempo de reposición, generados mediante números aleatorios con distribución normal, influyen en los niveles de inventario y en el comportamiento del sistema.

**Palabras Claves:** Sistemas de control de inventarios, cadena de abastecimiento, proveedor, minorista.

## ABSTRACT

This research work presents a simulation model to analyze the effect of different inventory control systems used in two levels of a supply chain. The parameters or operation conditions of the model are based on a theorist or hypothetical general case; the general inventory models determined other parameters necessities in the model for the desired analysis, this analysis is considering the effect in the total relevant cost and the service level, and was studied in each echelon and in the two levels; in this supply chain the supplier delivers an X product to three retailers. Through the computer simulation and the respective analysis, the study found out that sometimes some echelons have to give up the control system that produces less cost, without using it, but this is the way that everyone finds benefit as a group. For the analysis different scenarios were designed, where the control systems s,Q, R,S and s,S are combined in many ways in the four echelons of the supply chain, finding that, with the operation conditions, the best scenario for the supply chain is present when the retailers 1 and 2 work with the continue control system s,S, the retailer 3 with s,Q, and the supplier with the control system s,Q, these systems can affect the decision variables analyzed if any of them changes. The orders and the lead time, generated through random numbers with normal distribution, have an influence in the inventory levels and the system behavior.

**Key Words:** Inventory control systems, supply chain, supplier, retailer.

## INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de la cadena de suministro ha venido tomando con el transcurrir del tiempo una importancia absoluta en las industrias colombianas, debido a los altos costos que representan cada una de las actividades que se llevan a cabo, teniendo influencia tanto a nivel nacional como mundial, lo que implica la necesidad de generar estrategias que permitan la consecución de beneficios para cada una de las entidades y por medio de las cuales se logre la satisfacción del cliente de manera adecuada. Para esta finalidad se torna útil el uso de herramientas por medio de las cuales se pueda inferir en el comportamiento de un sistema con el uso mínimo de recursos, dentro de lo cual toma importancia la simulación para el desarrollo del siguiente trabajo, por medio de la cual se analiza los efectos en una cadena de abastecimiento al operar bajo diferentes combinaciones de los sistemas de control de inventarios entre el proveedor y los minoristas, permitiendo determinar sin necesidad de realizar cambios en un sistema real cuál es la configuración que mejor desempeño representa para la cadena, teniendo en cuenta los parámetros bajo los que se desarrollan las actividades; esta configuración requiere de una relación estrecha con la necesidad de una cultura colaborativa entre las diferentes partes, donde se busque de manera conjunta la reducción de los costos totales y el cumplimiento con los requerimientos del mercado.

El trabajo que se desarrolla tiene como finalidad analizar el efecto en los costos y el nivel de servicio de una cadena de abastecimiento, producido por el uso de sistemas de control de inventarios combinados de formas diferentes entre cada una de las partes que componen la cadena de abastecimiento, integrada por un proveedor y minoristas, seleccionándose los sistemas a evaluarse, generando diferentes escenarios ejecutados mediante simulación Monte Carlo, y definiendo la configuración que mayor beneficio produce para la CA.

# 1 PROBLEMA

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad las organizaciones se encuentran inmersas en una economía globalizada donde las exigencias de los clientes y el mercado cada vez son mayores, requerimientos que llevan a la toma de decisiones sobre los sistemas de control de inventarios como estrategia para satisfacer la demanda generada.

Cada una de estas compañías forman parte de una gran cadena conocida como cadena de suministro o abastecimiento, compuesta por diferentes eslabones que cumplen una función fundamental para su adecuado desempeño, siendo necesaria la interrelación y colaboración en los procesos claves de cada una de las unidades de negocio, en busca de que los productos estén disponibles al menor costo posible cuando son solicitados por alguna de las partes, siendo necesario una visión colaborativa que difícilmente se da entre las industrias colombianas, realizando cada empresa por lo general una planeación de forma aislada que busca incrementar los beneficios individuales, lo que hace que se incurra en mayores costos en la CA global.

Es así, como muchos de los negocios prestan su atención a mejorar sus operaciones internas, dándole poca importancia al funcionamiento de la cadena entera, situación que se presenta entre un fabricante local o proveedor y sus clientes (minoristas) ubicados en diferentes lugares, donde cada uno toma sus decisiones de inventario sin examinarse la influencia en los otros componentes, ocasionando altos costos logísticos por el manejo de los stocks, y afectando el servicio al cliente; problemas comunes en las cadenas de abastecimiento mundiales, donde los costos logísticos totales han representado en países como Colombia y Brasil entre un 15% y un 20% del PIB, y en Estados Unidos entre un 9.5% y un 10.1% del PIB entre 2005 y 2007(Vidal, 2010), representando una suma considerable de dinero, dentro de la cual tiene incidencia la gestión de inventarios.

Una operación donde cada componente tiene la libertad de decisión para funcionar con el sistema de control de inventarios en el que mayor beneficio encuentra como ente individual, es una de las causas que influye en los altos costos logísticos y niveles de servicio que se presentan a lo largo de la cadena de abastecimiento, debido a la relación del sistema de control empleado con los niveles de inventario a mantener y con la frecuencia de las ordenes de cada integrante, buscando que exista la capacidad para satisfacer la demanda, por lo que depende de esta administración los costos generados por mantener el inventario, ordenar y los faltantes en los que se incurre. Situación que se puede presentar a lo largo de todos los eslabones de una cadena de abastecimiento y se ve reflejada en dos niveles de ésta, conformados por un proveedor o distribuidor y minoristas de un mismo grupo empresarial, donde cada uno toma sus decisiones de inventario de manera particular, presentando un efecto en los costos y nivel de servicio en el que no hay una manera de cuantificarlos si existieran modificaciones en la forma en que cada componente administra su inventario, estando la posibilidad de que operen bajo una configuración de sistemas de control que no sea la que mayor beneficio genere para esta parte de la CA.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo analizar el efecto de diferentes sistemas de control de inventarios en los costos y nivel de servicio de dos niveles de la cadena de abastecimiento integrada por un proveedor y sus minoristas utilizando simulación?

## **1.3 SISTEMATIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

- ✓ ¿Cuáles son los sistemas de control de inventarios, las variables y parámetros que afectan la cadena de abastecimiento?
  
- ✓ ¿Cómo construir el modelo de simulación de los sistemas de control de inventarios que define el comportamiento de los dos niveles de la cadena de abastecimiento?

- ✓ ¿Cuál es el comportamiento de las variables seleccionadas en los dos niveles de la cadena de abastecimiento?
  
- ✓ ¿Cómo el sistema de control usado por el minorista influye en su nivel de servicio y en el del proveedor?
  
- ✓ ¿Cómo el sistema de control usado por el minorista influye en el costo del proveedor, minorista y la cadena de abastecimiento?



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar el efecto de diferentes sistemas de control de inventarios en los costos y nivel de servicio de dos niveles de la cadena de abastecimiento integrada por un proveedor y sus minoristas utilizando simulación.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Definir los sistemas de control de inventarios, las variables y parámetros que afectan al proveedor y los minoristas de la cadena de abastecimiento.
  
- ✓ Desarrollar un modelo de simulación de los sistemas de control de inventarios que define la operación de los integrantes de la cadena de abastecimiento.
  
- ✓ Examinar el comportamiento de las variables seleccionadas en los eslabones de la cadena de abastecimiento, mediante un análisis de escenarios.

### 3 JUSTIFICACIÓN

El mundo empresarial presenta una tendencia donde la competencia está pasando de ser entre empresas aisladas a una competencia entre cadenas de abastecimiento, llevando a que una unidad de negocio se encuentre fortalecida y competitiva en el mercado dependiendo del desempeño de cada uno de los elementos con los que presenta una relación directa, por lo que el funcionamiento eficiente de la cadena resulta ser fundamental para generar beneficios mutuos entre los proveedores y minoristas, que se ve afectada por la gestión que se hace sobre los inventarios.

Los problemas de control de inventarios se deben a las características de la demanda y a los tiempos de reposición (Vidal, 2010), por lo que para lograr mitigar el impacto de estas dos causas se requiere de un flujo de información continuo y colaborativo entre cada uno de los componentes, de tal forma que los sistemas de control de inventarios usados por cada miembro contribuyan a una gestión adecuada de la cadena de abastecimiento, elevando el nivel de servicio e incurriendo en costos totales que contribuyan a la competitividad y sostenimiento de la cadena en el tiempo.

Dentro de un sistema constituido por un proveedor y minoristas se hace útil la simulación para comprender el comportamiento de la CA en cuanto a los sistemas de control de inventarios se refiere, siendo importante determinar el efecto generado por las decisiones tomadas por cada una de las partes, permitiendo identificar los sistemas de control que mejor se acoplan a la cadena de abastecimiento que opera bajo ciertos parámetros, conociendo el contexto que resulta ser el más adecuado para la gestión eficiente de la operación, por medio de la cual se puede alcanzar una ampliación de cada una de las unidades de negocio, reduciendo los costos logísticos que permitan el aumento de las utilidades y beneficios para cada uno de los interesados; radicando su importancia

si se considera que la gestión de inventarios junto con el sistema de almacenamiento representan entre un 15% y 30% de los costos totales de logística (Vidal, 2010).

Como herramienta para el análisis del sistema en este trabajo se escogió la simulación Monte Carlo como el tipo de simulación útil en el desarrollo, permitiendo analizar la aleatoriedad de los componentes, a diferencia de la simulación por eventos discretos y dinámica de sistemas, donde la primera se enfoca principalmente a sistemas que son afectados por el orden de los eventos, es decir, sólo se presentan cambios si ocurre un evento determinado; y la segunda a pesar de que permite analizar el efecto de los diferentes componentes no tiene en cuenta la aleatoriedad, aleatoriedad que es considerada en el caso teórico analizado (Piñeiro, 2007; Guasch&Piera, 2009).

El valor del desarrollo se encuentra en el hecho de que permite encontrar una metodología por medio de la cual se obtiene una aproximación a los costos y nivel de servicio que se pueden presentar en un sistema en el que haya cambios y que opere con los sistemas de control de inventarios aquí tratados, teniéndose una idea cercana de la gestión de los inventarios por parte de los integrantes si se lleva a cabo la operación con sistemas de control diferentes.

## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO CONTEXTUAL

El desarrollo del proyecto se enfoca en el análisis de dos niveles de la cadena de abastecimiento de un sector de la economía colombiana, niveles integrados por un proveedor y minoristas, operando con un producto estándar, convirtiéndose en la cadena de abastecimiento global para el caso desarrollado; componentes entre los cuales se simulan escenarios con diferentes combinaciones de los sistemas de control de inventarios, para observar los cambios que representan en los costos y nivel de servicio.

Economía colombiana que experimentó un crecimiento del PIB del 5,4% en el primer semestre del 2014, al compararse con el mismo periodo del 2013 (Portafolio.co, 2014), cifras que indican que el desarrollo del trabajo puede llegar a ser interesante para su replicación en un contexto donde la dinámica y desempeño económico del país ha mejorado.

La tendencia actual es mantener el mínimo nivel de inventario en cada eslabón de la cadena de suministro, debido a las limitaciones de espacio y costos asociados al manejo de las mercancías, buscando operar bajo un sistema justo a tiempo donde los productos en tránsito no lleguen antes ni después, para evitar acumulación o movimientos en almacén, y no dar lugar a faltantes o insatisfacción de la demanda respectivamente; a pesar de esta tendencia se sigue justificando el mantenimiento de inventarios gracias a la relación que tienen con la productividad global de la empresa y los niveles de servicio ofrecidos a los clientes, ofertando los productos en las cantidades necesarias y momentos oportunos, niveles que requieren de un adecuado control, por lo que se han desarrollado sistemas de información que cumplen con esta función, como módulos de ERP para el control de inventarios o gestión del almacén (Betanzo, 2003).

## 4.2 ESTADO DEL ARTE

Los inventarios a través del tiempo han tenido origen debido a la necesidad que presentan los humanos u organizaciones de almacenar determinados bienes o productos para equilibrar la oferta o producción con la demanda, demanda que se comporta de forma irregular y a la cual se busca satisfacer rápidamente mediante el almacenaje de los productos lo más cerca posible al punto donde se realiza el consumo, intentando evitar el desabastecimiento que en un mercado tan competitivo puede generar pérdidas por la disminución de las ventas como por el deterioro de la imagen del producto, por lo que se requiere de una custodia que permita el mantenimiento en condiciones apropiadas para el suministro, evitando el deterioro y permitiendo su control (Ferrín, 2007); este almacenamiento presenta costos asociados a la gestión del inventario, por lo que resulta de importancia llevar a cabo estrategias que permitan mantener un equilibrio entre el nivel para satisfacer las necesidades y el costo en el que se incurre, lo que ha sido tema de estudio para diferentes personas alrededor del mundo.

Forsberg (1995), evalúa los costos exactos de mantenimiento y de escasez para una política de revisión continua, basada en órdenes de acuerdo al inventario máximo, considerando un sistema de una bodega y N detallistas, tiempos de reposición constantes y demanda con distribución de Poisson.

La evaluación exacta de los costos de mantenimiento y de escasez del inventario en dos niveles del sistema integrado por una bodega y N detallistas diferentes es tema de importancia dentro del trabajo elaborado por Forsberg (1996), estudio similar al anterior en el que se consideran tiempos de reposición constantes, demandas con distribución de Poisson diferentes, y política o sistema de control de inventarios de revisión continua pero con un tamaño de pedido determinado.

Vidal et al. (2004), realizan un estudio donde ilustran técnicas de control de inventarios para cadenas de suministro con una bodega y múltiples puntos de venta en la aplicación real de una empresa comercializadora de productos masivos. En este estudio seleccionan un sistema de control periódico (R, S) tanto

para la bodega como para los puntos de venta, diseñando un método basado en información global y toma de decisiones centralizadas, y haciendo uso de sistemas de pronósticos tradicionales para la demanda, teniendo un control real de cerca de 120.000 productos.

Seifbarghy y Akbari (2006) desarrollan en su estudio una función de costo aproximado para encontrar el punto de reorden óptimo y el tamaño de lote adecuado para cada una de las unidades del sistema conformado por una bodega y detallistas idénticos, evaluando la precisión a través de simulación, asumiéndose tiempos de reposición constantes en todo el sistema, y demanda con distribución de Poisson independiente para los detallistas; estudio que se realiza basado en una política de inventario de revisión continua.

Lau et al. (2008), determinan los efectos en el rendimiento de la cadena de suministro conformada por un proveedor y cuatro minoristas, por medio de la modelación y simulación de las condiciones de operación, utilizando parámetros y evaluando cuatro políticas de inventario como la cantidad económica a ordenar (EOQ), cantidad periódica a ordenar (POQ), Silver-Meal (SM), y parte periódica de balance (PPB); encontrándose la cantidad económica a ordenar como la mejor para los minoristas y toda la cadena.

Los modelos de gestión de inventarios dentro de la cadena presentan importancia al momento de buscar alcanzar una cadena de suministro que opere de manera eficiente, tema en el que Gutiérrez y Vidal (2008) realizan una revisión de la literatura para determinar los modelos de gestión en el diseño de políticas de inventarios de productos terminados y materias primas en cadenas de abastecimiento, encontrando que para dar soporte a las decisiones de inventario existe un completo conjunto de modelos y métodos de solución, pero a pesar de esto no existe actualmente una metodología clara y unificada que brinde este soporte.

Dependiendo de la política de inventario o sistema de control que sea usado dentro de una organización se produce una consecuencia financiera, escenario dentro del cual Toro et al. (2011) desarrollan un estudio de los efectos económicos

asociados a diferentes políticas de inventarios, haciendo uso del valor presente neto y el valor en riesgo como indicadores para cada sistema; estudio que lleva a encontrar que las diferentes políticas mantienen entre el VPN y el VaR una proporción constante, donde aquellas que minimizan el costo son tan buenas como las que maximizan el beneficio, desde una perspectiva de la minimización del riesgo.

Díaz y Pérez (2012), desarrollan un estudio para la optimización de inventarios conjuntos entre un proveedor y un cliente, analizando las ventajas de este enfoque en los costos totales de la cadena, contrastado con las políticas tradicionales no colaborativas; encontrando que la colaboración entre varias entidades en cuanto a sus decisiones de inventario produce un menor costo total anual que las actividades realizadas de forma individual.

En la actualidad, la cadena de suministro presenta una tendencia a la generación de una cultura de colaboración entre las partes, en este sentido Arango et al. (2013) realizan una revisión de los modelos de inventario colaborativos, los obstáculos para la aplicación y alternativas para eliminar estos obstáculos, modelos colaborativos que son una de las estrategias más importantes para intentar reducir costos, mejorar el nivel de servicio, satisfacer a los clientes, y mejorar el desempeño de las empresas, mediante una sinergia que permite responder a los retos de competitividad del entorno actual.

Un estudio que también involucra dentro de su desarrollo una bodega y diferentes puntos de venta es realizado por Wang (2013), haciendo uso de políticas de control de inventarios de revisión periódica para dos niveles de la cadena de suministro con múltiples detallistas y demanda estocástica, en el cual se asume que los detallistas son idénticos, con parámetros de demanda y costos iguales, y con políticas de reabastecimiento comunes, donde se tiene en cuenta tanto en la bodega como en los detallistas el inventario de escalón para el desarrollo del modelo de optimización, estudio que busca minimizar el costo de estos dos niveles de la cadena, mediante la identificación de un sistema de control de inventario que presente la mejor solución óptima.

### **4.3 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

Los conceptos que aquí se definen y que no presentan una cita específica son basados en su mayoría en el Diccionario de la Real Academia Española ([www.rae.es](http://www.rae.es)); aquellos que no se encuentran en este diccionario, son definidos de acuerdo a la contextualización que los autores dan del proyecto.

#### **Bodega**

Unidad física donde se almacenan productos o bienes a la espera de ser utilizados o requeridos.

#### **Cadena de suministro o abastecimiento**

Es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor, caracterizada por las interrelaciones de las unidades involucradas en la satisfacción del cliente (Ballou, 2004). En este trabajo la cadena de abastecimiento cuenta con la participación de una bodega o proveedor y puntos de venta, existiendo una relación entre los cuales se hace la transferencia de productos terminados desde el proveedor hasta los clientes, disponiendo del producto en el momento, lugar y precio oportuno.

#### **Costos de Inventarios**

Es la cantidad monetaria que se da o se paga por la gestión de los inventarios, dentro del diseño de la estructura de la función objetivo el concepto de Costo Total Relevante (CTR) resulta ser el más utilizado, incluyendo costos determinados por el sistema de control de inventarios, definidos por Ballou (2004) y Vidal (2010) así:

- ✓ **Costos de compra o producción:** Son generados por las actividades necesarias de procesamiento, incluyendo el precio del producto por las cantidades demandadas.



- ✓ **Costos de ordenamiento, preparación o alistamiento (setups):** Resultan de los procesos necesarios para que la orden llegue al proveedor, generados por los costos de procesar un pedido a través de los departamentos de contabilidad y compras, costo de transmitir el pedido al punto de suministro, costo de transportar el pedido cuando no está incluido en el precio del producto, y el costo de procesamiento en el punto de recepción.
- ✓ **Costos de mantenimiento del inventario (holding cost):** Resultan de guardar o mantener el inventario durante un periodo; se presentan principalmente por los costos de espacio, capital, servicio de inventario, y riesgo de inventario.
- ✓ **Costos de faltantes de inventario (lost sales ó backorders):** Resultan de no poderse surtir un pedido cuando es colocado, existiendo dos tipos de costos por faltantes denominados costos por pérdidas de ventas, y costos por pedido pendiente.

Los costos principales considerados por el CTR son los costos de ordenamiento o alistamiento y los costos de mantenimiento, involucrados en el CTR mediante la siguiente ecuación:

$$CTR = \frac{AD}{Q} + \frac{Q}{2}vr$$

Donde el costo total relevante resulta ser la función objetivo con los siguientes parámetros:

A = Costo fijo de alistamiento u ordenamiento [\$/orden]

D = Tasa de demanda del ítem [unidades/año]

r = Costo de mantener el inventario [%/año ó \$/(\$ . año)]

v = Valor unitario del ítem [\$/unidad]

Siendo la variable de decisión:

Q = Tamaño del pedido o de la orden [unidades]

$$Q = \sqrt{\frac{2AD}{vr}}$$

### **Cliente**

Organización o persona que hace uso de los servicios o productos de una empresa en el mercado.

### **Demanda**

Cantidad global de las compras por parte de los clientes de los bienes o servicios ofertados.

### **Distribuidor**

Persona u organización que distribuye un bien o producto a los diferentes clientes.

### **Eslabón**

Unidad de negocio o compañía dentro de la cadena de suministro, que se interrelaciona con las demás unidades.

### **Inventarios**

Son la acumulación de materias primas, trabajo en proceso y productos terminados, que tienen lugar en diferentes puntos de la cadena de suministro, funcionando como provisión para ser utilizados posteriormente, disponiendo de la cantidad necesaria, en el momento oportuno, en el lugar preciso y al mínimo costo, garantizando el servicio al cliente (Ballou, 2004; Mauleon,2006).

### **Mercado**

Conjunto de consumidores capaces de comprar un producto o servicio.

**Minorista (detallista)**

Unidad de negocio que se encarga de la venta de los productos al cliente, consumidor o usuario final.

**Política de control**

Es aquella que da respuesta a preguntas que permiten el control del stock necesario para la operación, estableciéndose en ella parámetros que indican cada cuánto debe revisarse el inventario, cuándo ordenar y cuánto ordenar(Gutiérrez & Vidal, 2008).

**Producto**

Cualquier cosa producida que se ofrece en un mercado para satisfacer una necesidad o deseo.

**Proveedor**

Empresa o persona que abastece de un bien o servicio a otra organización que lo requiere para su operación o consumo.

**Simulación**

Es una herramienta que permite observar y aprender el comportamiento de un sistema, siendo el arte de desarrollar modelos mediante el uso de programas de computador para imitar su funcionamiento, con el fin de predecir las posibles situaciones que se presentan bajo diversas condiciones, evaluando diferentes estrategias, lo que involucra el proceso de diseño de un modelo del sistema real para llevar a cabo experiencias con él, encontrándose una de sus aplicaciones en la simulación de sistemas de inventarios(Shannon, 1988; Vidal, 2010).

✓ **Ventajas de la simulación:**

La simulación en sistemas de inventarios de acuerdo a Vidal (2010) presenta ventajas como:

- Facilidad para controlar condiciones experimentales difíciles de implementar en la realidad, como por ejemplo el control de restricciones reales del sistema debido a limitaciones de capital y almacenamiento.
- Posibilidad de predecir el comportamiento de diversas políticas de inventarios o sistemas de control, sin necesidad de experimentar con el sistema real.
- Análisis de horizontes de tiempo relativamente largos en tiempos relativamente cortos.
- Representación con gran precisión de distribuciones de demanda y tiempos de reposición que no son tratables analíticamente.

✓ **Desventajas de la simulación:**

A pesar de las ventajas que presenta la simulación en el análisis de determinados sistemas, también presenta algunas desventajas descritas por Vidal (2010) como:

- Los modelos de simulación resultan ser normalmente costosos y consumen mucho tiempo para su desarrollo.
- Se requiere de múltiples corridas para poder establecer intervalos de confianza sobre las variables de interés a través del diseño experimental, debido a que cada corrida de un modelo de simulación es una muestra aleatoria de la reacción del sistema bajo las condiciones impuestas.
- Los modelos de simulación sólo describen el comportamiento del sistema bajo ciertas condiciones, más no permite encontrar de manera fácil soluciones óptimas de problemas.
- La validación del modelo de simulación puede consumir de manera excesiva tiempo y esfuerzo; pero es muy importante tener un alto nivel de

confidencia de que el modelo de simulación utilizado es válido para la toma de decisiones en el sistema bajo estudio.

### **Simulación Monte Carlo**

Es el diseño de escenarios donde los valores numéricos se comportan en función de números aleatorios como reemplazo de experiencias reales (Ortiz, 2009). Los números aleatorios proporcionan una manera conveniente de evaluar un sistema en estudio, denominándosele al procedimiento simulación Monte Carlo si el modelo de simulación involucra muestreo aleatorio a partir de una distribución de probabilidad que por lo general no es uniforme, y que requiere sucesiones de números aleatorios (Gordon, 1980).

#### ✓ **Ventajas de la simulación Monte Carlo:**

Cuando los sistemas contienen elementos que exhiben probabilidades en su comportamiento como por ejemplo demanda de inventario, tiempo de reposición (Lead Time), y tiempos de servicio, es aplicable el método Monte Carlo, teniendo ventajas como:

- Es un método directo y flexible.
- Permite estudiar las interacciones entre los componentes.
- No interfiere con los sistemas reales.

#### ✓ **Desventajas de la simulación Monte Carlo:**

De la misma forma en que este tipo de simulación presenta algunas ventajas, también presenta desventajas como:

- Es costosa debido a que requiere procesos largos y complicados para desarrollar el sistema.
- No genera soluciones óptimas es un proceso de prueba y error.
- Requiere que se genere previamente todas las condiciones y restricciones de los problemas del modelo o mundo real.

## **Sistemas de control**

Son aquellos que permiten mediante su asociación con ecuaciones determinar los valores de los parámetros de la política de control; de acuerdo con Vidal (2010) algunos de los tipos de sistemas de control existentes más comunes son:

✓ **Sistema continuo (s,Q):**

Este sistema funciona adecuadamente siempre y cuando no exista más de un pedido de reposición pendiente en cualquier instante de tiempo, esto se debe a que se caracteriza porque cada vez que el inventario efectivo es igual o menor al punto de reorden  $s$ , se ordena una cantidad fija  $Q$ ; esta cantidad  $Q$  puede ser ajustada hasta que sea considerablemente mayor que la demanda promedio durante el tiempo de reposición.

Cuando la cantidad  $Q$  no hace que se alcance el punto de reorden se pueden ordenar múltiplos enteros de  $Q$  hasta que el inventario efectivo sea superior al punto de reorden.

✓ **Sistema continuo (s,S):**

En este sistema la cantidad a ordenar depende del inventario efectivo y del nivel máximo, por lo que las cantidades a ordenar pueden variar de un periodo a otro; cada vez que el inventario efectivo cae al punto de reorden  $s$  o por debajo de él, se ordena una cantidad que incremente el inventario efectivo hasta el nivel de inventario máximo  $S$ .

✓ **Sistema periódico (R,S):**

En este sistema se revisa el inventario efectivo cada  $R$  unidades de tiempo, y se ordena una cantidad que haga que el inventario suba al valor máximo  $S$ . El nivel máximo de inventario puede ser ajustado fácilmente si el patrón de demanda tiende a cambiar con el tiempo, pero el inventario de seguridad requerido es mayor, debido a que debe cubrir las fluctuaciones de demanda para un tiempo igual al periodo de revisión  $R$  más el tiempo de reposición  $L$ .

✓ **Sistema (R,s,S):**

Este sistema se puede considerar como un híbrido, siendo una combinación de los sistemas (s, S) y (R, S). En este sistema cada  $R$  unidades de tiempo se revisa el inventario efectivo, si éste es menor o igual que el punto de reorden  $s$ , se emite un pedido por una cantidad que haga que el inventario efectivo se recupere hasta un nivel máximo  $S$ . Si el nivel de inventario efectivo es mayor que  $s$  no se ordena ninguna cantidad hasta la próxima revisión que se hará en  $R$  unidades de tiempo.

Se ha demostrado en algunos estudios que bajo algunos supuestos generales con respecto al patrón de demanda y los costos involucrados, este sistema produce un costo total relevante compuesto por ordenamiento, mantenimiento y faltante de inventario, menor que el mejor de cualquiera de los otros sistemas de control.

La notación básica que se utiliza en los sistemas anteriormente nombrados son:

$s$  = Punto de reorden o de pedido (nivel de inventario efectivo en el cual debe emitirse una nueva orden).

$Q$  = Cantidad a ordenar en cada pedido.

$R$  = Intervalo de revisión del nivel de inventario efectivo.

$S$  = Nivel máximo de inventario efectivo hasta el cual debe ordenarse.

## 5 METODOLOGÍA

El proyecto que se desea desarrollar, parte de unas bases fundamentales encontradas en la revisión bibliográfica, revisión que se realiza durante toda la elaboración del proyecto con la finalidad de incrementar los conocimientos sobre cadenas de abastecimiento, inventarios y simulación, lo que permitirá identificar y escoger los sistemas de control de inventarios que son de interés y que se analizarán, seleccionando a su vez las variables de entrada y salida del sistema para precisar las condiciones de operación. Este desarrollo corresponde a un estudio explicativo por medio del cual se estudia el efecto causado por los diferentes sistemas de control de inventarios en el costo y nivel de servicio en cada uno de los componentes y de forma conjunta, de acuerdo a los parámetros establecidos, centrándose en la manera cómo se administra el inventario y a partir de esto establecer las implicaciones y el por qué del comportamiento en las variables de decisión analizadas; estudio llevado a cabo bajo una metodología hipotética-deductiva, donde se parte de una premisa general de comportamiento y situación en las cadenas de abastecimiento para llegar a conclusiones de un caso hipotético generalizado mediante modelos teóricos que se simulan con datos aleatorios.

La simulación Monte Carlo como herramienta principal para el análisis del proyecto permitirá tener una aproximación al comportamiento del sistema bajo los parámetros establecidos, lo que permite realizar un análisis del caso teórico que se construirá para el proyecto, con una cantidad mínima de recursos, caso en el cual se definen los valores de entrada y por medio del cual se construye el modelo de simulación con el nivel de detalle deseado, y el cual tendrá que ser trasladado al computador para validarlo por medio de la comparación con los modelos existentes, con el fin de determinar que efectivamente es una representación del sistema estudiado.



Una vez validado el modelo se procede a diseñar distintos escenarios, corridos bajo diferentes combinaciones de los sistemas de control entre los componentes del caso general a analizarse, en los cuales se analizan los valores obtenidos a partir del modelo de las variables seleccionadas, permitiendo realizar conclusiones sobre el efecto del uso de diferentes sistemas de control en la cadena de abastecimiento, quedando evidencia del estudio realizado por medio de la escritura de un documento.

Las actividades requeridas en la metodología descrita y que se deben cumplir de forma secuencial dentro de cada una de las fases son las siguientes:

### **5.1 FASE 1. Definir sistemas de control, variables y parámetros que afectan al proveedor y los minoristas de la cadena de abastecimiento**

La fase 1 tiene como finalidad el reconocimiento de los sistemas de control de inventarios más comunes, para así determinar cuáles serán los utilizados en el desarrollo, y las variables que generan los cambios en el sistema analizado, definiendo los parámetros que tienen influencia y son requeridos en cada uno de ellos, por lo que se encuentra compuesta por las actividades que se presentan a continuación:

#### **Revisión de bibliografía**

Revisar la bibliografía para incrementar los conocimientos sobre cadena de abastecimiento, inventarios, y simulación, actividad que se mantendrá desde el inicio del proyecto hasta su finalización.

#### **Identificar los sistemas de control más comunes en la literatura**

Hacer una revisión de los sistemas de control de inventarios existentes, sus modelos generales asociados y más tratados en el contexto académico.

### **Conocer los parámetros y variables involucradas en cada modelo**

Estudiar cada sistema de control para definir los parámetros y posibles variables de cada modelo general correspondiente.

### **Escoger los sistemas de control de inventarios a analizar**

Una vez identificados los sistemas de control y los datos requeridos se procede a determinar las políticas de control que se van a involucrar como de interés en el estudio.

### **Seleccionar las variables de entrada y salida a estudiar, y parámetros pertinentes**

Determinar las variables a usarse en la entrada y salida del sistema, definiendo los parámetros de operación que deben de existir como datos de entrada para los modelos generales de los sistemas de control de inventarios seleccionados.

## **5.2 FASE 2. Desarrollar un modelo de simulación de los sistemas de control de inventarios**

La fase 2 tiene como propósito el desarrollo del caso generalizado hipotético a ser analizado, mediante la determinación de valores de entrada que se establecen como inherentes y correspondientes a la operación de cada uno de los componentes; lo que lleva a la construcción del modelo conceptual para tener una definición clara del cómo opera la simulación, y así ser trasladado al software que permitirá el desarrollo deseado con su correspondiente validación, es así como está constituida por las siguientes actividades:

### **Realizar un caso hipotético, estableciendo valores de entrada**

Desarrollar el caso teórico a analizarse donde se determinen valores que son inherentes al sistema, y los cuales determinan los efectos de los diferentes sistemas de control en los costos y nivel de servicio de la cadena de abastecimiento.

### **Construir el modelo conceptual de la simulación, teniendo en cuenta el nivel de detalle deseado**

Realizar el diagrama de flujo necesario para representar el modelo, involucrando de manera detallada los elementos necesarios que se quieren tener presentes para la evaluación.

### **Trasladar el modelo al computador**

Desarrollar el modelo en el software seleccionado, a partir del modelo conceptual.

### **5.3 FASE 3. Examinar el comportamiento de las variables seleccionadas en los eslabones de la cadena de abastecimiento, mediante un análisis de escenarios**

Una vez trasladado el modelo al software se inicia la fase 3, donde por medio del diseño de diferentes escenarios, caracterizados por diferentes combinaciones de los sistemas de control entre los elementos, se analiza el comportamiento principalmente de las variables de decisión, como lo son el costo y nivel de servicio, para así llegar a una aproximación de la configuración más adecuada, siendo finalmente todo registrado en el documento, por lo que se encuentra constituida por las siguientes actividades:

#### **Calcular las salidas de los modelos generales**

Con los valores de entrada que se establecieron como parámetros se halla mediante los modelos generales los datos de salida de cada uno de ellos, como punto de reorden, cantidad económica a ordenar, inventario máximo y periodo de revisión, los cuales pasarán a ser los parámetros en la corrida realizada.

#### **Diseñar diferentes escenarios para analizar las variables seleccionadas**

Realizar escenarios definidos por diferentes combinaciones de los sistemas de control entre los eslabones analizados.

### **Simular los escenarios**

Correr los diferentes escenarios definidos mediante la generación de números aleatorios de demanda y tiempos de reposición, en un horizonte de tiempo de un año.

### **Validar el modelo desarrollado**

Mediante la verificación detallada del comportamiento en la corrida examinar si el modelo es una representación y se adapta al estudio deseado, validándose mediante la comparación de los valores resultantes de los modelos generales y de la corrida.

### **Analizar las variables de decisión, buscando la configuración más adecuada**

Examinar los valores de las variables de decisión, generados en los diferentes escenarios, llegando así al análisis de la configuración apropiada de los sistemas de control para los eslabones involucrados.

### **Escritura del documento**

Los procesos realizados para el desarrollo del proyecto se documentan, incluyendo desde la selección de los sistemas de control hasta los resultados y conclusiones, dejando por escrito todos aquellos aspectos importantes que se tienen en cuenta para la elaboración del estudio.

## 6 DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL, VARIABLES Y PARÁMETROS

El sistema a estudiar requiere de la definición de los sistemas de control de inventarios a tener en cuenta en el modelo de simulación, tras la revisión de la literatura se enfoca el caso teórico a un sistema donde cada uno de sus diferentes componentes pueden operar bajo uno de dos sistemas de control continuos (s,Q ó s,S) o un sistema periódico (R,S). El sistema s,Q presenta dos modelos diferentes para hallar el punto de reorden (s), y cantidad económica a ordenar (Q), al igual que el sistema R,S para hallar el intervalo de revisión (R), e inventario máximo (S), modelos que dependen de la consideración en el caso a analizarse respecto a la variabilidad o constancia del tiempo de reposición transcurrido a partir de que se realiza un pedido; lo que hace que existan también diferentes modelos para el Costo Total Relevante (CTR), dependiendo de la aleatoriedad del tiempo de reposición, modelos presentados en Vidal (2010).

El caso desarrollado operará con tiempos de reposición aleatorios, por lo que los modelos utilizados para los cálculos respectivos anuales corresponderán a los diseñados para este tipo de comportamiento del lead time.

### Modelo Sistema de Control Continuo s,Q

Costo total relevante:

$$CTR = \frac{AD}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + K \sigma_w\right) v r + \frac{D}{Q} (B_2 v) \sigma_w G_z(k)$$

Punto de reorden:

$$s = E(w) + K \sigma_w$$

$$E(w) = E(LT) \times E(d)$$

Cantidad económica a ordenar:

$$Q = \sqrt{\frac{2AD}{vr}}$$

$$\sigma_w = \sqrt{E(LT)\sigma_1^2 + [E(d)]^2\sigma_{LT}^2}$$

$$K \rightarrow P_z(K) = 1 - P_1$$

## Modelo Sistema de Control Periódico R,S

Costo total relevante:

$$CTR = \frac{A}{R} + \left( \frac{DR}{2} + K \sigma_w \right) v r + \frac{1}{R} (B_2 v) \sigma_w G_z(k)$$

Inventario máximo:

$$E(w) = (E(LT) + R) \times E(d)$$

$$S = E(w) + K \sigma_w$$

Intervalo de revisión:

$$\sigma_w = \sqrt{(E(LT) + R) \sigma_1^2 + [E(d)]^2 \sigma_{LT}^2}$$

$$R = \sqrt{\frac{2A}{Dvr}}$$

$$K \rightarrow P_z(K) = 1 - P_1$$

Definición de los elementos contenidos en los modelos:

- ✓ A: Costo fijo de ordenamiento u alistamiento (\$/orden).
- ✓ D: Demanda anual.
- ✓ K: Factor de seguridad.
- ✓  $\sigma_w$ : Estimación de la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de reposición, en unidades.
- ✓ v: Valor unitario del ítem (\$/unidad).
- ✓ r: Tasa del costo de mantenimiento del inventario (%/año).
- ✓  $B_2$ : Fracción de costo en la que se incurre por cada ocasión de faltante.
- ✓  $P_z(K)$ : Probabilidad de que la normal unitaria  $Z \sim N(0,1)$  tome un valor mayor o igual que K.
- ✓  $E(w)$ : Valor esperado de la demanda durante el tiempo de reposición, en unidades.
- ✓  $E(LT)$ : Valor esperado del tiempo de reposición, en unidades de tiempo.
- ✓  $E(d)$ : Valor esperado de la rata de demanda, en unidades por unidad de tiempo.

- ✓  $\sigma_1$ : Desviación estándar de los errores del pronóstico de la demanda, en unidades y mismo periodo de tiempo de la tasa de demanda.
- ✓  $\sigma_{LT}$ : Estimación de la desviación estándar de los errores del pronóstico del tiempo de reposición, en unidades de tiempo.
- ✓  $P_1$ : Nivel de servicio, probabilidad de no ocurrencia de faltantes.

Los dos modelos descritos resultan importantes en el momento que se requiere tener una idea del costo total anual en el que se incurre por el manejo del inventario, permitiendo conocer en qué momento se debe lanzar una orden de pedido, qué cantidad se debe solicitar, y cuál es el inventario máximo con el que se debe operar; lo que hace que en la naturaleza del modelo se tengan sólo datos generales que no muestran el comportamiento del inventario, costos y nivel de servicio en cada uno de los días a medida que transcurre el año, pero se convierten en valores que proporcionan información mínima necesaria para simular y poder observar el nivel de inventario y costo en el día a día de la operación, datos del punto de reorden, cantidad económica a ordenar, intervalo de revisión, y nivel máximo de inventario que son relevantes para ser utilizados con esta finalidad.

El modelo del sistema continuo s,S no se describe como modelo para la obtención de los valores generales, debido a que este es utilizado en la simulación día a día con los datos obtenidos de los sistemas de control mencionados anteriormente, de tal forma que para simularlo se hace uso del punto de reorden obtenido en el s,Q, y del nivel máximo de inventario obtenido en el R,S.

Una vez un componente del sistema se encuentre operando bajo un sistema de control presenta variables de entrada como la demanda y el tiempo de reposición, siendo los que determinan el cambio en las variables de salida como el nivel de inventario y costo, donde a su vez el sistema de control de inventarios representa en sí una variable inicial que condiciona la forma de operar durante el año;

variables de entrada que toman un valor en la simulación mediante la generación de números aleatorios con distribución normal.

Cada uno de los elementos (minoristas, proveedor) del sistema que se simulará presenta datos o valores que son inherentes a su naturaleza y que en gran parte dependen del contexto en el que se desenvuelve, siendo parámetros requeridos y que pertenecen a elementos contenidos en los modelos de control de inventarios, dentro de los cuales se establecen: valor esperado de la rata de demanda ( $E(d)$ ), desviación estándar de la demanda ( $\sigma_1$ ), valor esperado del tiempo de reposición ( $E(LT)$ ), estimación de la desviación estándar del tiempo de reposición ( $\sigma_{LT}$ ), valor unitario del ítem ( $v$ ), costo de ordenar ( $A$ ), tasa del costo de mantener el inventario ( $r$ ), nivel de servicio deseado ( $P_1$ ), y fracción estimada del costo de faltante ( $B_2$ ); valores iniciales que permiten el cálculo de elementos que se mantendrán fijos y presentes en la simulación, funcionando como parámetros derivados, donde los más importantes que se hallan son el punto de reorden, cantidad económica a ordenar, intervalo de revisión e inventario máximo, considerándose en el contexto de parámetro derivado aquel valor que aparece y se fija, siendo datos importantes en el estudio.

El cuadro 1 muestra los diferentes factores considerados para la construcción del modelo de simulación, mostrando su clasificación de acuerdo a su naturaleza controlable o no controlable dentro del caso que se desarrolla, donde los factores controlables son aquellos en los que las partes involucradas en la cadena de abastecimiento pueden realizar acciones de gestión o tomar decisiones para generar cambios en estos valores, pero esto no significa que dentro de la simulación se vayan a producir estos cambios, cambios referidos a los valores que pueden ser controlables en los parámetros, debido a que no es el objeto de estudio. Los factores definidos como no controlables son aquellos que dependen del entorno, por lo que el valor que toma no se encuentra asociado a la acción de los involucrados, sino al comportamiento del contexto en el que opera.



**Cuadro 1.** Sistemas de control, variables y parámetros

Sistemas de Control		Variables		Parámetros	
s,Q	Controlable	<b>De Entrada</b>		<b>Iniciales</b>	
R,S	Controlable	Demanda	No controlable	E(d)	No controlable
s,S	Controlable	Tiempo de Reposición	No controlable	$\sigma_1$	No controlable
		<b>De Salida</b>		E(LT)	No controlable
		Nivel de Inventario	No controlable	$\sigma_{LT}$	No controlable
		Costo	No controlable	v	No controlable
				A	Controlable
				r	Controlable
				P <sub>1</sub>	Controlable
				B <sub>2</sub>	No controlable
				<b>Derivados</b>	
				s	No controlable
				Q	No controlable
				R	No controlable
				S	No controlable

Fuente: Elaboración propia

## **7 DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

El desarrollo del modelo de simulación se encuentra constituido por tres etapas, desde la construcción del caso hipotético generalizado o teórico determinando los valores de entrada, hasta el traslado y validación en Excel, teniendo presente las condiciones de operación y características inherentes a cada sistema de control, siendo los que van a determinar la forma de accionar de cuándo y cuánto debe ordenarse, de acuerdo a la demanda que experimenta cada componente de la cadena de abastecimiento.

### **7.1 CASO HIPOTÉTICO O TEÓRICO**

La cadena de abastecimiento caracterizada por las interacciones entre un sin número de organizaciones resulta ser un tema de estudio con un considerado grado de complejidad, por lo que para el alcance del objetivo del proyecto se analizará como antes se ha mencionado un sistema conformado por un proveedor que se encarga de la comercialización de un producto estándar, el cual responde a la demanda recibida mediante las órdenes de pedido de los componentes aguas abajo, nivel constituido por tres minoristas en el sistema simulado, encargados de la venta al cliente final, donde los minoristas o puntos de venta pertenecen a la misma comercializadora, es decir, son puntos para la distribución al detal. Sistema donde el proveedor actúa de manera reactiva, lo que hace que no se encargue de controlar los inventarios de los minoristas, sino que responde a la demanda generada por ellos de acuerdo al sistema de control de inventario con el que operan. La especificación o descripción del producto que fluye entre estos dos niveles no se considera relevante, pues el interés se centra en conocer el comportamiento de los niveles de inventario y costos relacionados de acuerdo a los sistemas de control y demanda experimentada, por lo que el tipo de producto no es de importancia o no condiciona la simulación, existiendo sólo la necesidad de tomar en cuenta un valor estimado del ítem, valor unitario que podría corresponder a cualquier producto, y que es el mismo en cualquiera de los

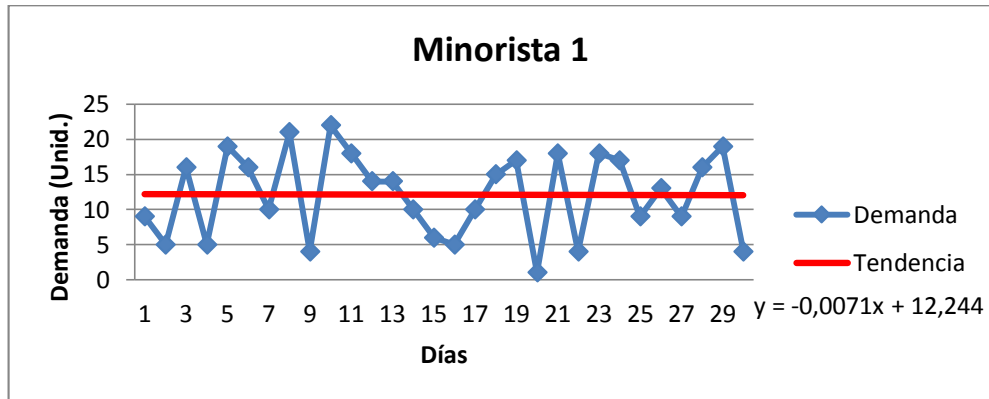
elementos del sistema, ya que de acuerdo a las características del caso construido el costo total relevante no incluye costo de compra, por lo que el valor se transmite siendo el mismo desde el proveedor a sus minoristas, considerando un valor de \$75.000, y que es necesario definirlo debido a que el costo de mantener y de faltantes del inventario se calcula a partir de fracciones de éste.

Dentro de los parámetros que alimentan el modelo se encuentra el valor esperado tanto de la demanda como del tiempo de reposición, con sus respectivas desviaciones estándar de los errores del pronóstico, valores que son obtenidos de datos históricos tanto de los minoristas como del proveedor. Los datos históricos de la demanda y tiempo de reposición de cada componente del sistema simulado son generados con distribución normal, al no obtenerse datos reales de operación, pero que son necesarios para la determinación de los valores esperados y de las respectivas desviaciones estándar que corresponden a las desviaciones de los errores del pronóstico, es necesario así hacer uso de un sistema de pronóstico, usado tanto para la demanda como para el lead time o tiempo de reposición, con la finalidad de obtener algunos de los parámetros o datos de entrada de la simulación. Los datos históricos considerados para la demanda corresponden a observaciones supuestas de los pedidos que les fueron realizados a cada componente durante 30 días pasados, y los del lead time corresponden a 30 datos de tiempos de reposición supuestos que se presentaron en ocasiones pasadas de la operación del sistema, cada vez que un eslabón lanzó una orden de pedido. El proveedor a pesar de que no recibe pedidos diarios debido a que depende de los sistemas de control de los minoristas, los datos históricos son diarios, por lo que se considera un sistema colaborativo, donde el proveedor realiza sus pronósticos de demanda basados en la demanda diaria que se presenta en sus clientes.

De acuerdo con Vidal (2010) el sistema de pronóstico que mejor se adapta para cada caso depende del patrón de la demanda real, donde para los cuatro integrantes de la cadena de abastecimiento se presenta una demanda perpetua o estable, con poca o ninguna tendencia, siendo el promedio móvil uno de los

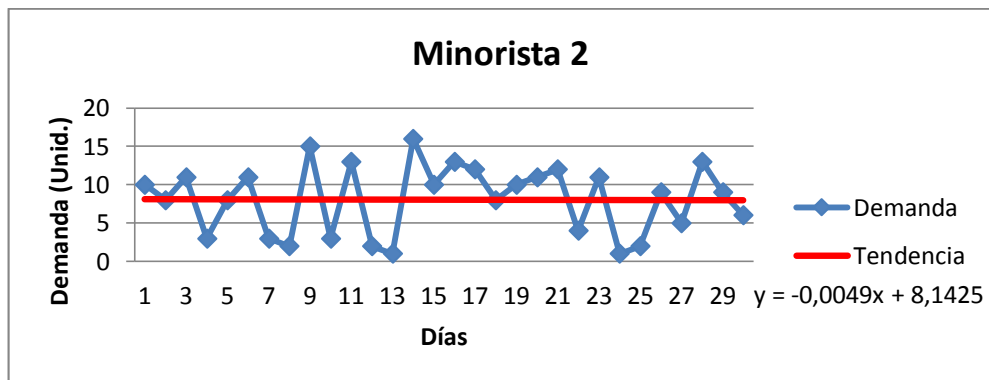
adecuados para el pronóstico de este patrón de demanda, y por medio del cual se realiza el cálculo del valor esperado del periodo o día siguiente.

**Figura 1.** Demanda real minorista 1



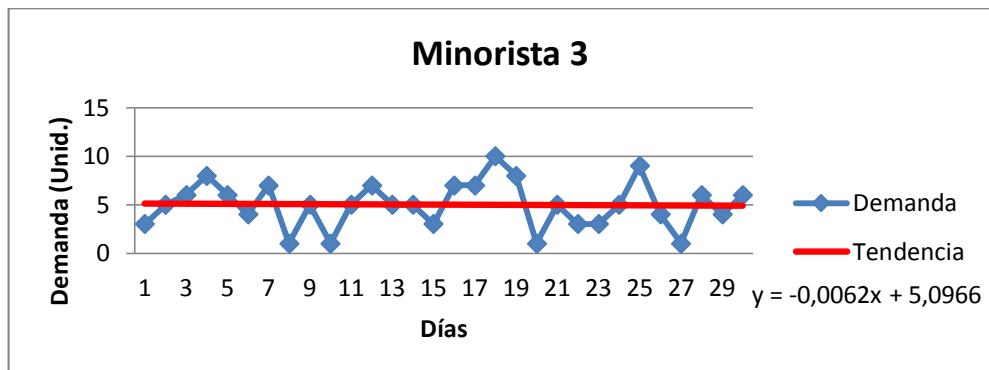
Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.** Demanda real minorista 2



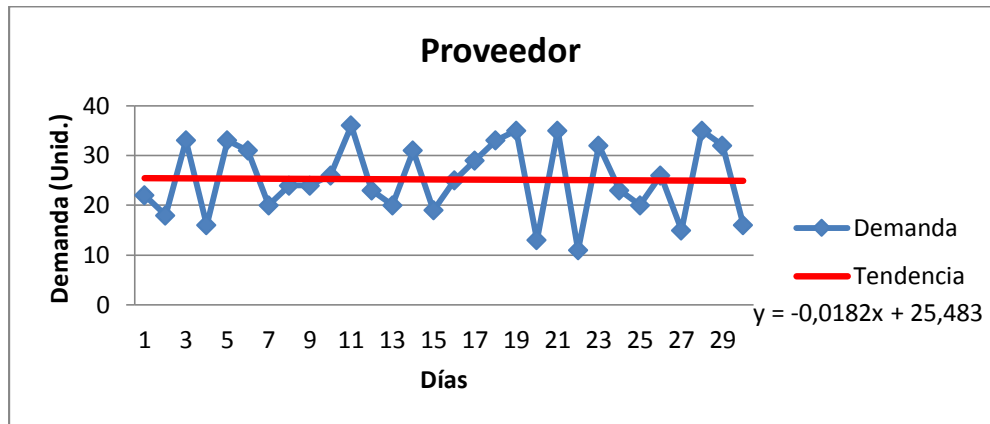
Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.** Demanda real minorista 3



Fuente: Elaboración propia

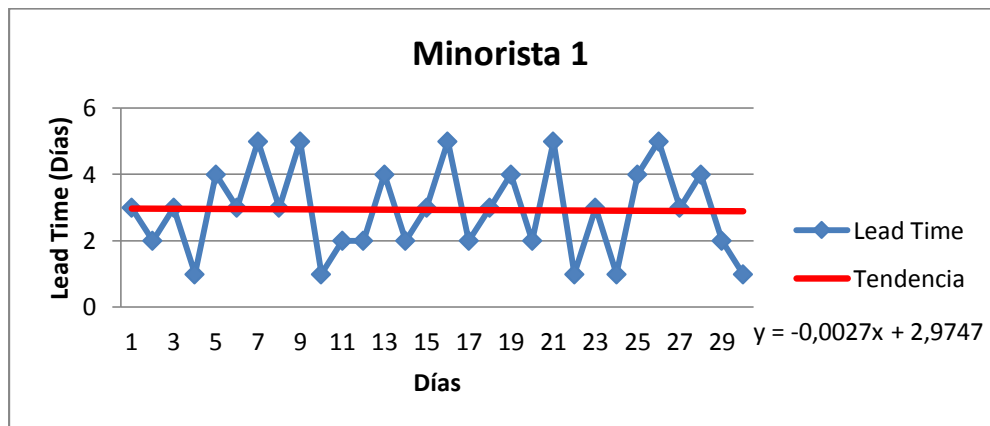
**Figura 4.** Demanda real proveedor



Fuente: Elaboración propia

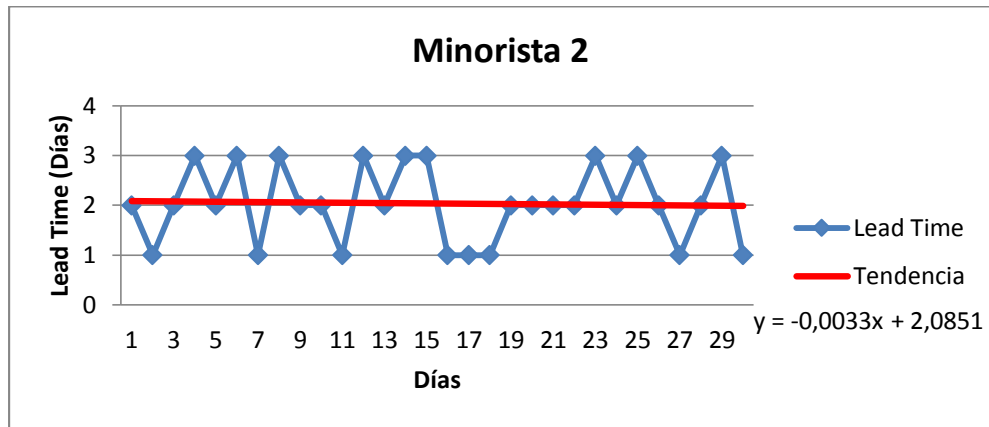
Las líneas de tendencia de las anteriores gráficas muestran el patrón de demanda de cada componente, lo que facilita la decisión acerca del sistema de pronóstico a ser empleado, siendo como se mencionó el promedio móvil. Este patrón de comportamiento de los datos resulta ser el mismo para los tiempos de reposición, lo cual se muestra en las gráficas siguientes, por lo que se hace uso del mismo sistema de pronóstico para determinar el valor esperado del tiempo de reposición en el periodo siguiente.

**Figura 5.** Lead time minorista 1



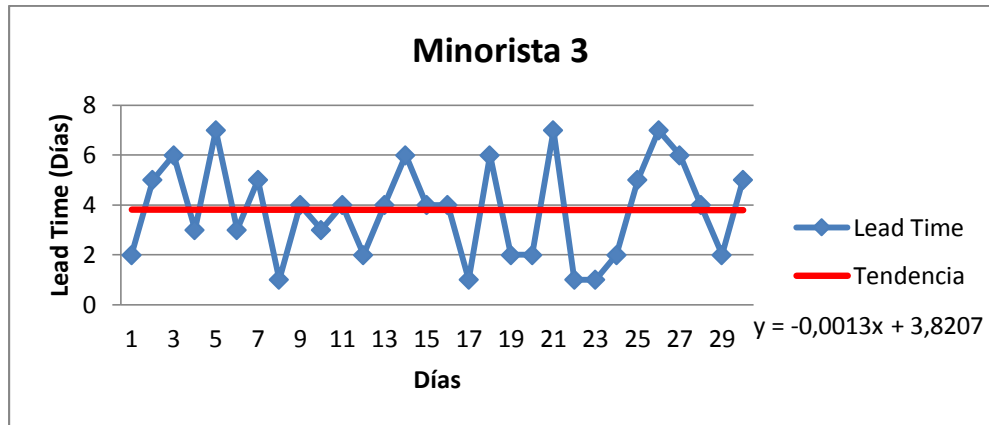
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Lead time minorista 2



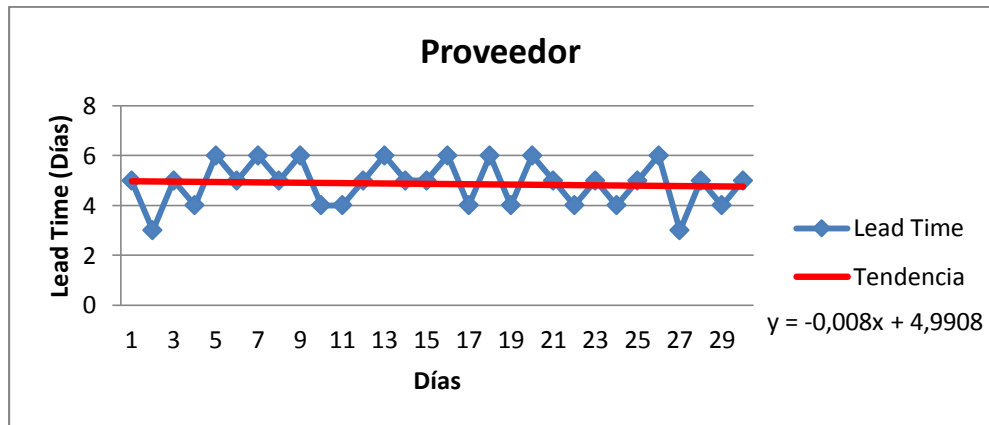
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Lead time minorista 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Lead time proveedor



Fuente: Elaboración propia

El promedio móvil requiere de la definición del número de periodos (N) a ser incluidos en el promedio y que mayor precisión genera para el pronóstico, número de periodos que se determinan de acuerdo al que menor valor generé en el índice de pronóstico seleccionado como de interés para dicho propósito, dentro de los principales índices se encuentran la desviación absoluta porcentual media (MAPE), error cuadrático medio (ECM), y desviación absoluta media (MAD), este último es el utilizado como el indicador específico de precisión del pronóstico que determinará el valor de N óptimo; para este propósito se hace necesario realizar los pronósticos variando el valor, sugerido entre 6 y 15 periodos comprendidos en el promedio, debido a que no toma valores tan actuales ni tan antiguos, lo que genera diferentes pronósticos, entre los cuales sólo uno es el que menor valor produce en el indicador MAD; para agilizar este proceso y realizar el pronóstico se varió N haciendo uso del software WinQSB, seleccionándose así el número de periodos que mejor pronóstico genera basado en el indicador.

Las desviaciones estándar de los errores del pronóstico pueden ser halladas según Vidal (2010) mediante el producto entre 1,2533 y la MAD, forma en la que son estimadas las desviaciones tanto para la demanda como para el lead time del proveedor y los minoristas.

El cuadro 2 y la figura 9 y 10 muestran los pronósticos para el minorista 1, donde el indicador MAD con menor valor es generado cuando el número de periodos promediados es igual a 11 para la demanda y a 10 para el lead time, presentándose un valor de MAD de 5,12 y 1,15 para cada caso respectivamente, donde la desviación estándar es de 6,42 con un pronóstico para el periodo siguiente de 11,64 unidades en lo que respecta a la demanda, y para el lead time una desviación estándar de 1,44 con un pronóstico para el siguiente periodo de 2,9 días.

**Cuadro 2.** Pronóstico de la demanda y lead time para el minorista 1

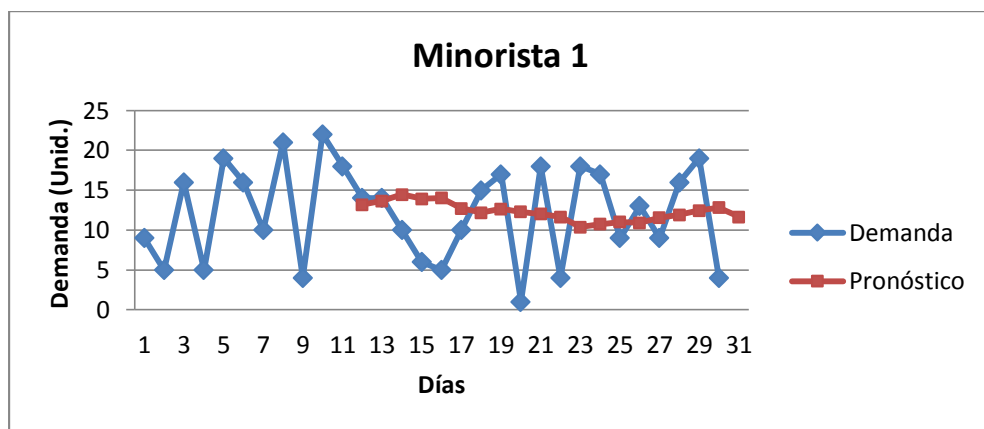
Minorista 1				
Día	Demanda		Lead Time	
	Real	Pronóstico	Real	Pronóstico
1	9		3	
2	5		2	
3	16		3	
4	5		1	
5	19		4	
6	16		3	
7	10		5	
8	21		3	
9	4		5	
10	22		1	
11	18		2	3,00
12	14	13,18	2	2,90
13	14	13,64	4	2,90
14	10	14,45	2	3,00
15	6	13,91	3	3,10
16	5	14,00	5	3,00
17	10	12,73	2	3,20
18	15	12,18	3	2,90
19	17	12,64	4	2,90
20	1	12,27	2	2,80
21	18	12,00	5	2,90
22	4	11,64	1	3,20
23	18	10,36	3	3,10
24	17	10,73	1	3,00
25	9	11,00	4	2,90
26	13	10,91	5	3,00
27	9	11,55	3	3,00
28	16	11,91	4	3,10
29	19	12,45	2	3,20
30	4	12,82	1	3,00
31		11,64		2,90

MAD	5,12	MAD	1,15
MSE	35,26	MSE	1,80
MAPE	116,55	MAPE	58,10
$\sigma_d$	6,42	$\sigma_{LT}$	1,44

Fuente: Elaboración propia

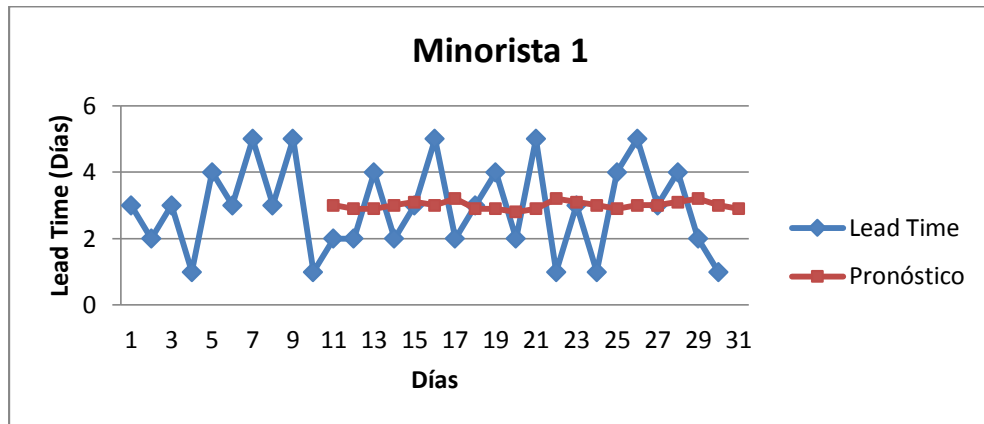
**Figura 9.** Pronóstico de la demanda para el minorista 1



Fuente: Elaboración propia



**Figura 10.** Pronóstico del lead time para el minorista 1



Fuente: Elaboración propia

El indicador MAD con menor valor es generado en los pronósticos del minorista 2 cuando el número de periodos promediados es igual a 14 para la demanda y a 15 para el lead time, presentándose un valor de MAD de 3,30 y 0,59 para cada caso respectivamente, donde la desviación estándar es de 4,14 con un pronóstico para el periodo siguiente de 8,07 unidades en lo que respecta a la demanda, y para el lead time una desviación estándar de 0,74 con un pronóstico para el siguiente periodo de 1,87 días; los datos se muestran en el cuadro 3 y figura 11 y 12.

Para el minorista 3 el indicador MAD con menor valor es generado en los pronósticos cuando el número de periodos promediados es igual a 12 para la demanda y a 8 para el lead time, presentándose un valor de MAD de 2,07 y 1,73 para cada caso respectivamente, donde la desviación estándar es de 2,60 con un pronóstico para el periodo siguiente de 4,58 unidades en lo que respecta a la demanda, y para el lead time una desviación estándar de 2,16 con un pronóstico para el siguiente periodo de 4 días; los datos se muestran en el cuadro 4 y figura 13 y 14.

**Cuadro 3.** Pronóstico de la demanda y lead time para el minorista 2

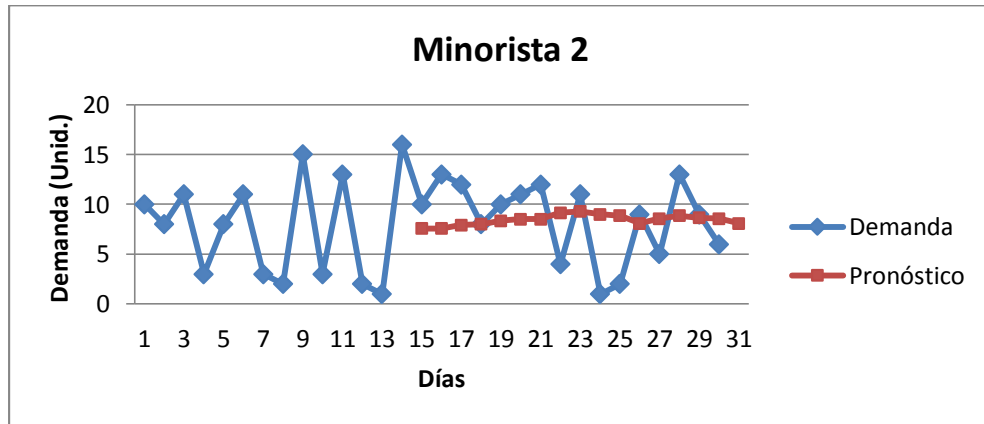
Minorista 2				
Día	Demanda		Lead Time	
	Real	Pronóstico	Real	Pronóstico
1	10		2	
2	8		1	
3	11		2	
4	3		3	
5	8		2	
6	11		3	
7	3		1	
8	2		3	
9	15		2	
10	3		2	
11	13		1	
12	2		3	
13	1		2	
14	16		3	
15	10	7,57	3	
16	13	7,57	1	2,20
17	12	7,93	1	2,13
18	8	8,00	1	2,13
19	10	8,36	2	2,07
20	11	8,50	2	2,00
21	12	8,50	2	2,00
22	4	9,14	2	1,93
23	11	9,29	3	2,00
24	1	9,00	2	2,00
25	2	8,86	3	2,00
26	9	8,07	2	2,07
27	5	8,57	1	2,13
28	13	8,86	2	2,00
29	9	8,64	3	2,00
30	6	8,57	1	2,00
31		8,07		1,87

MAD	3,30	MAD	0,59
MSE	15,69	MSE	0,62
MAPE	100,98	MAPE	44,67
$\sigma_1$	4,14	$\sigma_{LT}$	0,74

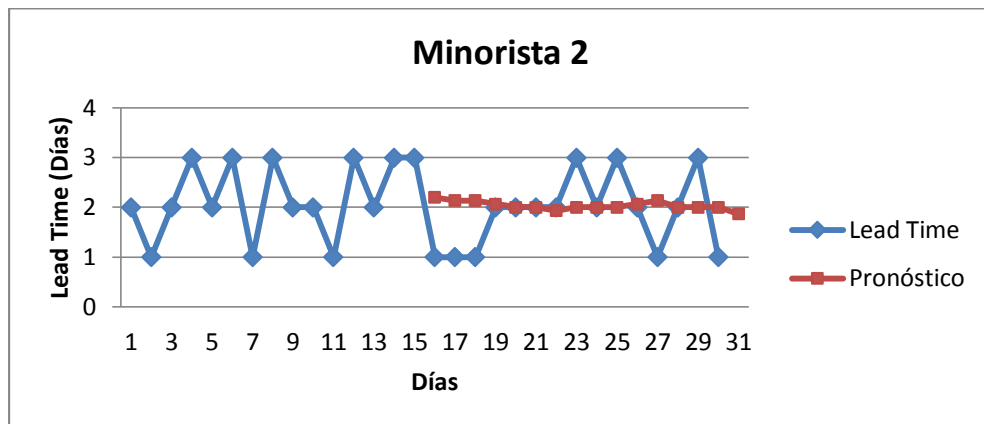
Fuente: Elaboración propia

**Figura 11.** Pronóstico de la demanda para el minorista 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Pronóstico del lead time para el minorista 2



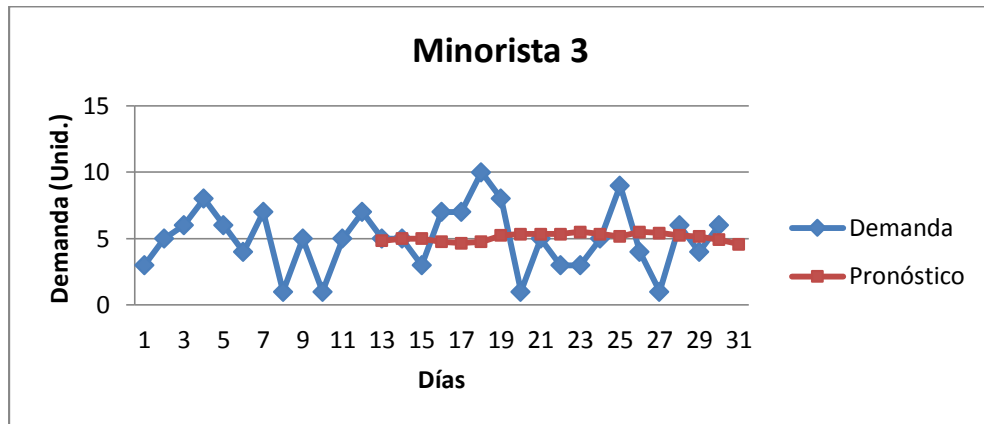
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. Pronóstico de la demanda y lead time para el minorista 3

Minorista 3				
Día	Demanda		Lead Time	
	Real	Pronóstico	Real	Pronóstico
1	3		2	
2	5		5	
3	6		6	
4	8		3	
5	6		7	
6	4		3	
7	7		5	
8	1		1	
9	5		4	4,00
10	1		3	4,25
11	5		4	4,00
12	7		2	3,75
13	5	4,83	4	3,63
14	5	5,00	6	3,25
15	3	5,00	4	3,63
16	7	4,75	4	3,50
17	7	4,67	1	3,88
18	10	4,75	6	3,50
19	8	5,25	2	3,88
20	1	5,33	2	3,63
21	5	5,33	7	3,63
22	3	5,33	1	4,00
23	3	5,50	1	3,38
24	5	5,33	2	3,00
25	9	5,17	5	2,75
26	4	5,50	7	3,25
27	1	5,42	6	3,38
28	6	5,25	4	3,88
29	4	5,17	2	4,13
30	6	4,92	5	3,50
31		4,58		4,00
MAD	2,07	MAD	1,73	
MSE	6,66	MSE	4,24	
MAPE	78,42	MAPE	73,99	
$\sigma_1$	2,60	$\sigma_{LT}$	2,16	

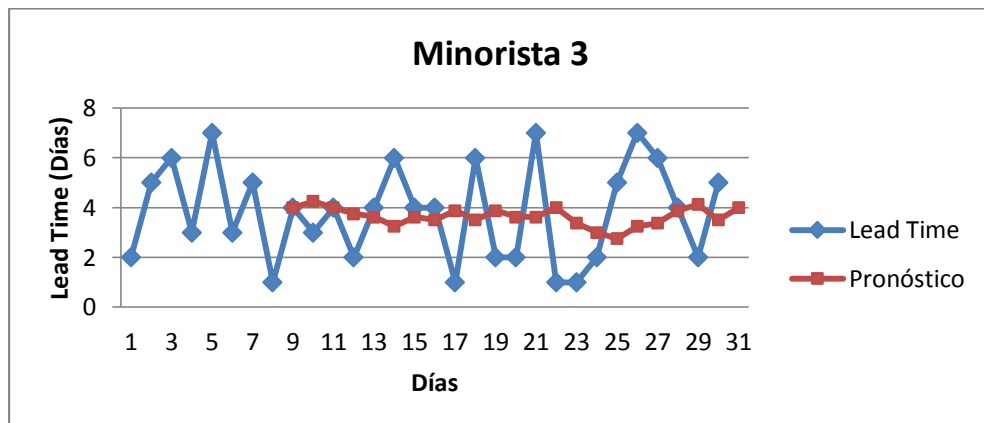
Fuente: Elaboración propia

**Figura 13.** Pronóstico de la demanda para el minorista 3



Fuente: Elaboración propia

**Figura 14.** Pronóstico del lead time para el minorista 3



Fuente: Elaboración propia

El indicador MAD con menor valor es generado en los pronósticos del proveedor cuando el número de periodos promediados es igual a 7 para la demanda y a 13 para el lead time, presentándose un valor de MAD de 6,66 y 0,69 para cada caso respectivamente, donde la desviación estándar es de 8,34 con un pronóstico para el periodo siguiente de 23,86 unidades en lo que respecta a la demanda, y para el lead time una desviación estándar de 0,86 con un pronóstico para el siguiente periodo de 4,77 días; los datos se muestran en el cuadro 5 y figura 15 y 16.

**Cuadro 5.** Pronóstico de la demanda y lead time para el proveedor

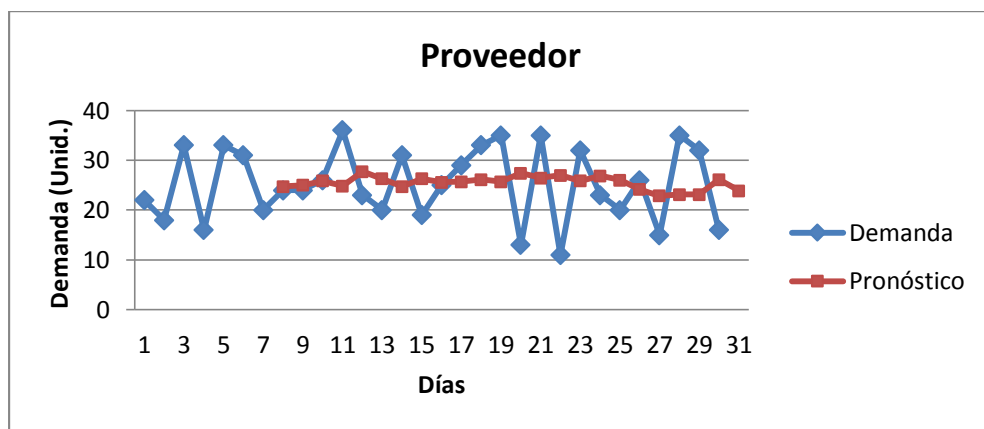
Proveedor				
Día	Demanda		Lead Time	
	Real	Pronóstico	Real	Pronóstico
1	22		5	
2	18		3	
3	33		5	
4	16		4	
5	33		6	
6	31		5	
7	20		6	
8	24	24,71	5	
9	24	25,00	6	
10	26	25,86	4	
11	36	24,86	4	
12	23	27,71	5	
13	20	26,29	6	
14	31	24,71	5	4,92
15	19	26,29	5	4,92
16	25	25,57	6	5,08
17	29	25,71	4	5,15
18	33	26,14	6	5,15
19	35	25,71	4	5,15
20	13	27,43	6	5,08
21	35	26,43	5	5,08
22	11	27,00	4	5,08
23	32	25,86	5	4,92
24	23	26,86	4	5,00
25	20	26,00	5	5,00
26	26	24,14	6	5,00
27	15	22,86	3	5,00
28	35	23,14	5	4,85
29	32	23,14	4	4,85
30	16	26,14	5	4,69
31		23,86		4,77

MAD	6,66	MAD	0,69
MSE	62,51	MSE	0,77
MAPE	32,24	MAPE	16,14
$\sigma_L$	8,34	$\sigma_{LT}$	0,86

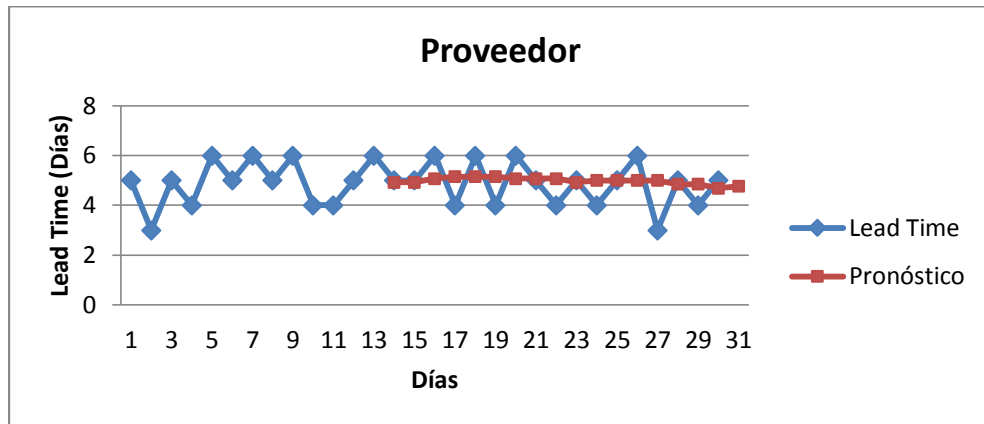
Fuente: Elaboración propia

**Figura 15.** Pronóstico de la demanda para el proveedor



Fuente: Elaboración propia

**Figura 16.** Pronóstico del lead time para el proveedor



Fuente: Elaboración propia

Los valores de los pronósticos de los periodos siguientes y las desviaciones representan los valores esperados y desviaciones estándar de los errores del pronóstico respectivamente, tanto de la demanda como del tiempo de reposición, tomados como parámetros iniciales que alimentan la simulación, cuyos valores son definidos como el entero superior de los datos descritos anteriormente, trabajados como valores enteros debido a que en la simulación durante los días de operación en el año se trabaja con unidades y días de tiempo de reposición enteros, teniéndose así los cuatro primeros valores de los parámetros del modelo para cada organización que integra el sistema, los valores redondeados hacia arriba y definitivos para estos parámetros se encuentran en el cuadro 6.

Definidos una vez los parámetros anteriores se requiere la definición de los parámetros iniciales restantes, dentro de los cuales se encuentran el costo de ordenar u alistar, la tasa de costo de mantenimiento del inventario, la probabilidad de no ocurrencia de faltantes, y la fracción de costo en la que se incurre por cada faltante. De esta manera se establece como parámetro un costo de ordenar diferente para cada componente, debido a que los costos relacionados con el procesamiento de la orden pueden presentar una gestión distinta en cada organización, costos que son relacionados a acciones como la preparación de formatos de las órdenes, llamadas telefónicas, transmisión de la orden,

autorización del pedido, y recepción e inspección, lo que influye en la variación de este costo; este parámetro de ordenar se encuentra definido también como costo de alistamiento, por lo que se considera en el proveedor el mismo valor para los alistamientos de cada pedido de este eslabón, costo en el que incurre debido a las altas cantidades que recibe como pedido, mientras que en los minoristas no se considera el alistamiento debido a que al ser detallistas el costo es mínimo, teniéndose clientes que no compran más de 5 unidades, por lo que es considerado despreciable para el desarrollo de la simulación, costos de ordenar y alistar que se mantienen fijos independientemente del tamaño de la orden. Las unidades del producto que se mantienen en cada elemento u organización generan un costo por el manejo del inventario cuya tasa está relacionada para el caso desarrollado con el nivel de la cadena de abastecimiento en el que se encuentran, siendo la misma tasa de mantenimiento diaria del valor del ítem para todos los componentes que se encuentran en el nivel de minorista, donde la tasa es diferente en el nivel de proveedor. El nivel de servicio está dado por el número de días que cada elemento mantiene con faltantes en el inventario, por lo que se debe establecer para cada organización la probabilidad de no ocurrencia de faltantes, siendo definida con el mismo valor para todos los componentes; faltantes que traen consigo la generación de un costo, por lo que es necesario la definición de una fracción de costo del valor del ítem que se presenta por cada unidad faltante, estando definida para los minoristas una fracción menor que para el proveedor, debido a que un faltante en el proveedor puede presentar un mayor impacto en la cadena de abastecimiento; los valores definidos para estos parámetros se encuentran también en el cuadro 6, mostrando así el resumen de los valores que toma cada uno de los parámetros iniciales de la simulación, siendo el punto de partida para el cálculo de los valores principales que determinarán el comportamiento del inventario de cada elemento de la cadena de abastecimiento.

**Cuadro 6.** Valores de entrada o de los parámetros iniciales

		Minorista 1	Minorista 2	Minorista 3	Proveedor	
Parámetros	E(d)	12	9	5	24	unidades/día
	$\sigma_d$	7	5	3	9	unidades
	E(LT)	3	2	4	5	días
	$\sigma_{LT}$	2	1	3	1	días
	v	75.000	75.000	75.000	75.000	\$/unidad
	A	50.000	70.000	40.000	120.000	\$/pedido
	r	0,060%	0,060%	0,060%	0,020%	día
	P1	90%	90%	90%	90%	
	B2	0,09	0,09	0,09	0,15	

Fuente: Elaboración propia

## 7.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

Basado en las características o parámetros definidos para cada entidad del sistema se desarrolló el modelo de simulación para comprender especialmente el comportamiento del nivel de inventario, dependiendo del sistema de control utilizado, el cual dará a conocer la presencia de faltantes y los costos totales relacionados, lo que permite analizar el efecto generado o cambios ocasionados en estas dos variables de decisión o análisis, provocados por el uso de diferentes políticas de inventario.

El modelo desarrollado opera partiendo del sistema de control que haya entrado como variable a ser simulada, el cual tomará los parámetros iniciales correspondientes al minorista o proveedor, proporcionando los datos necesarios para determinar mediante los modelos generales los valores de interés o bajo los cuales debería de operar la organización; una vez definidos los sistemas de control que funcionarán en cada elemento del sistema y parámetros derivados que determinan las decisiones de pedido empezará a tener influencia en la simulación y en los cambios de los niveles de inventario la demanda del cliente final, afectando directamente las unidades disponibles en los puntos de venta, en los cuales las decisiones de inventario máximo, cantidades a ordenar y tiempo en el que se ordena dependen del sistema de control y valores definidos anteriormente,



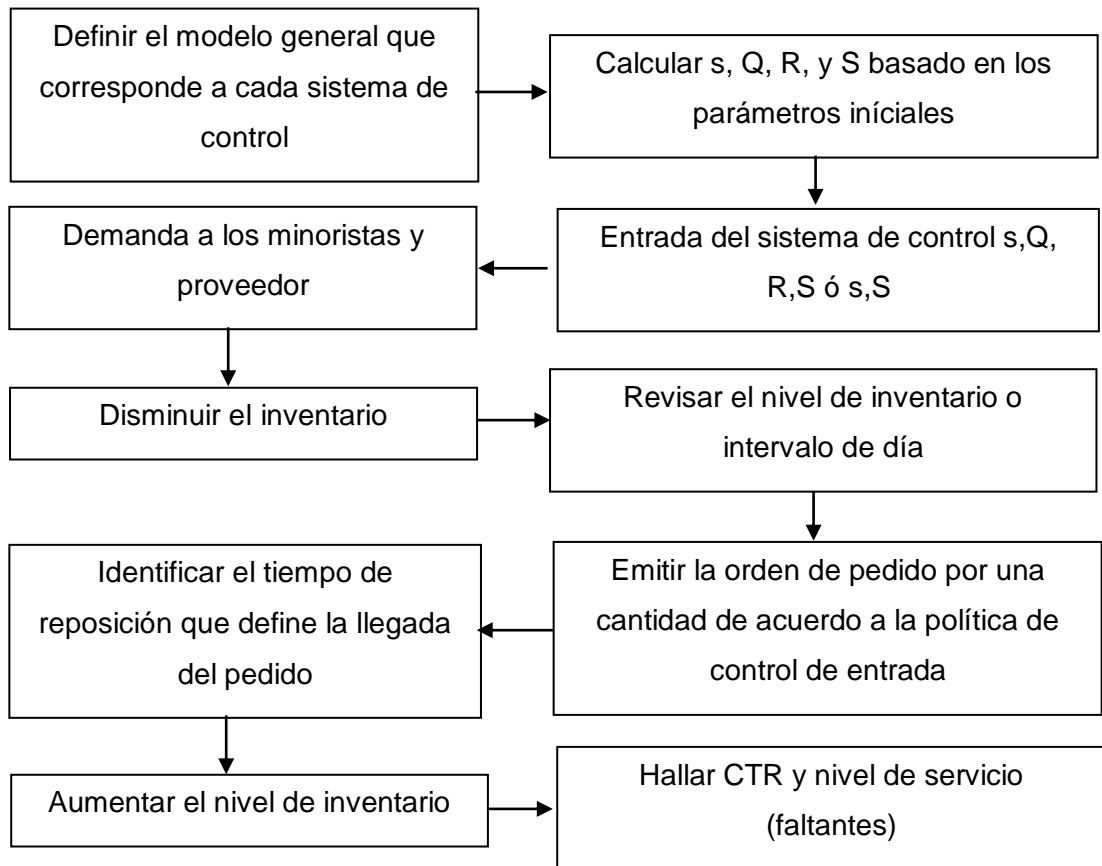
lo que hace que las cantidades que se mantienen en inventario y las cantidades a ordenar sean diferentes dependiendo del sistema de control, trayendo consigo cambios en los costos y nivel de servicio; los niveles de inventario que se muestran en la simulación son los niveles que se tienen al final de cada día, por lo que el inventario del día siguiente es igual al inventario que se trae del día pasado complementado con el número de unidades que llegan el mismo día y disminuido en la demanda que se obtuvo durante el día, considerando que todas las órdenes de pedido que se habían realizado se reciben en la mañana.

En la simulación del sistema de control  $s,Q$  se monitorea día a día el nivel de inventario, de tal manera que si el inventario es igual o inferior al punto de reorden, se emite una orden de pedido por una cantidad igual a  $Q$ , valor de reorden y cantidad  $Q$  hallados mediante los modelos generales de inventarios haciendo uso de los parámetros iniciales. La simulación del sistema de control  $R,S$  en el modelo de simulación varía del anterior en el sentido de que no se monitorea el inventario día a día, sino que las órdenes se realizan periódicamente, es decir, se evalúa si el día es un múltiplo del valor  $R$  hallado con el modelo general, correspondiente al periodo de revisión, de ser así se debe emitir una orden por una cantidad igual a la diferencia entre el inventario máximo determinado por el modelo general y el nivel de inventario del día. El sistema de control  $s,S$  es simulado con los parámetros o valores hallados de los modelos generales de los otros dos sistemas de control, por lo que para su simulación se revisa el nivel de inventario cada día, donde si el inventario es igual o menor al punto de reorden se realiza un pedido por una cantidad igual a la diferencia entre el inventario máximo y el nivel de inventario actual. En el modelo construido cada vez que se realiza una orden o pedido en cualquiera de los sistemas de control se revisa el tiempo de reposición correspondiente al día en el que es emitida la orden, siendo la otra variable de entrada generada aleatoriamente y la cual indicará en la simulación dentro de cuántos días llegará el pedido que se está realizando.

La descripción anterior de funcionamiento del modelo de simulación es igual para todos los componentes respecto a los sistemas de control, lo que difiere un poco entre los minoristas y el proveedor es la demanda que perciben, debido a que la demanda de los minoristas está dada diariamente por números aleatorios, mientras que la del proveedor se encuentra determinada por las requisiciones de los minoristas, y estas a su vez dependen del sistema de control utilizado, por lo que a pesar de que los parámetros iniciales de demanda del proveedor están dados en días debido a sus pronósticos en un ambiente colaborativo, la demanda real que recibe no es diaria, sino que está dada dependiendo del escenario de los sistemas de control utilizados por los minoristas, y de sus decisiones de pedido de acuerdo a estos sistemas, por lo que si en un día se presenta un pedido por más de un minorista, la demanda que recibe el proveedor es igual a la suma de cada una de estas órdenes, lo que hace necesario que el modelo monitoree cada día los sistemas de control involucrados en el escenario simulado. Independientemente del sistema de control simulado se considera que en todos los casos la simulación inicia para cada minorista y proveedor con un nivel de inventario igual al inventario máximo del sistema R,S.

La forma como opera el modelo se presenta en la figura 17, los resultados del modelo son usados para analizar el CTR anual y los faltantes convertidos totalmente en órdenes pendientes presentados de acuerdo al nivel de inventario, donde el costo total relevante es igual a la suma de los costos incurridos diariamente, el cual depende de la manera en que se mantiene el inventario, y en el cual influencia la política de control simulada.

**Figura 17.** Proceso general del modelo de simulación



Fuente: Elaboración propia

La simulación es realizada durante un tiempo de 365 días, por lo que cuando se cumplen este número de días se para, de tal manera que basado en los resultados y comportamiento observado durante este tiempo se hace el análisis.

La formulación más detallada del modelo se muestra en el diagrama de flujo de la figura 18, donde se puede observar las decisiones involucradas en el proceso de la simulación.

**Figura 18.** Diagrama de flujo de la formulación del modelo

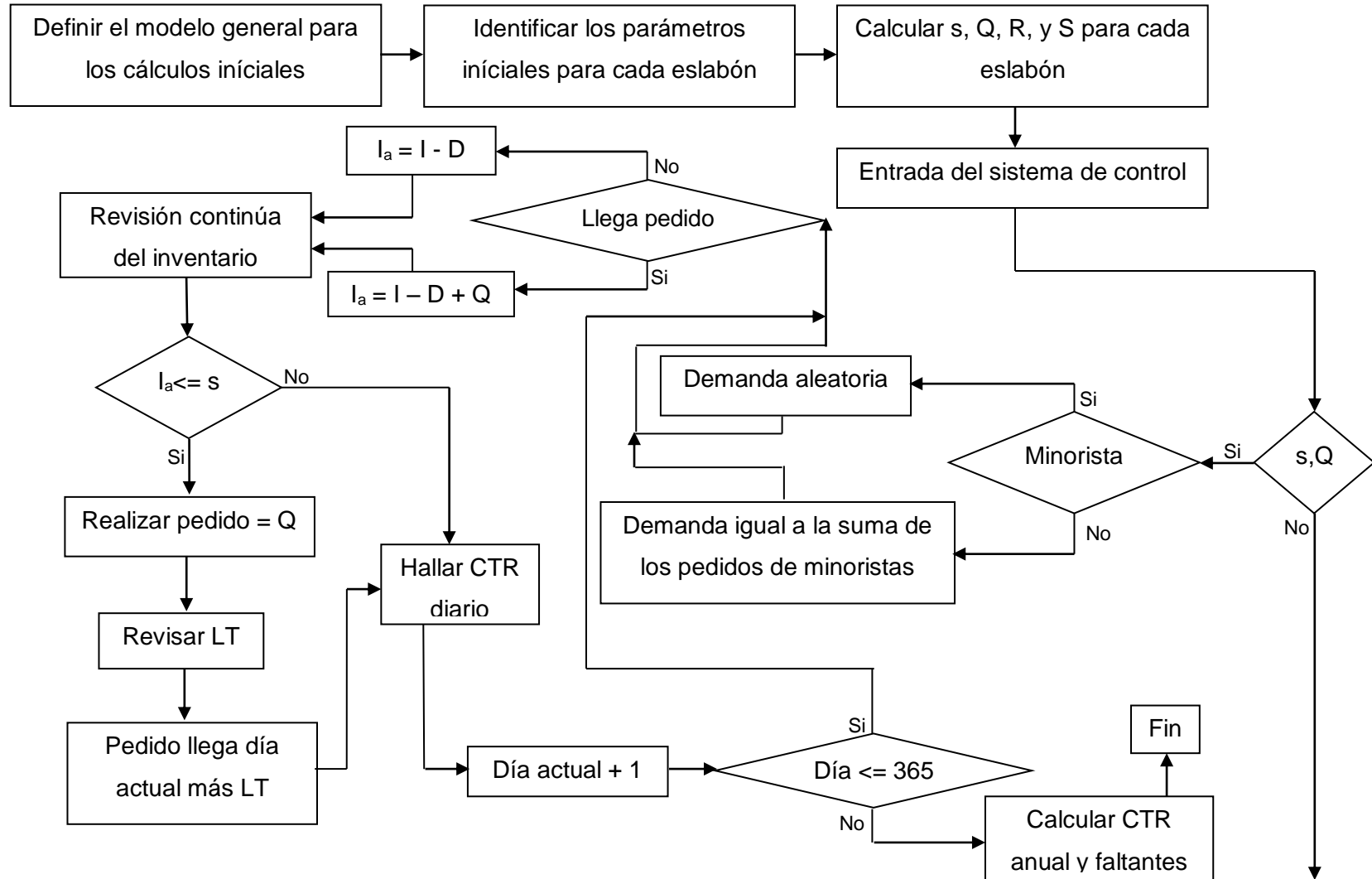


Figura 18. Continuación

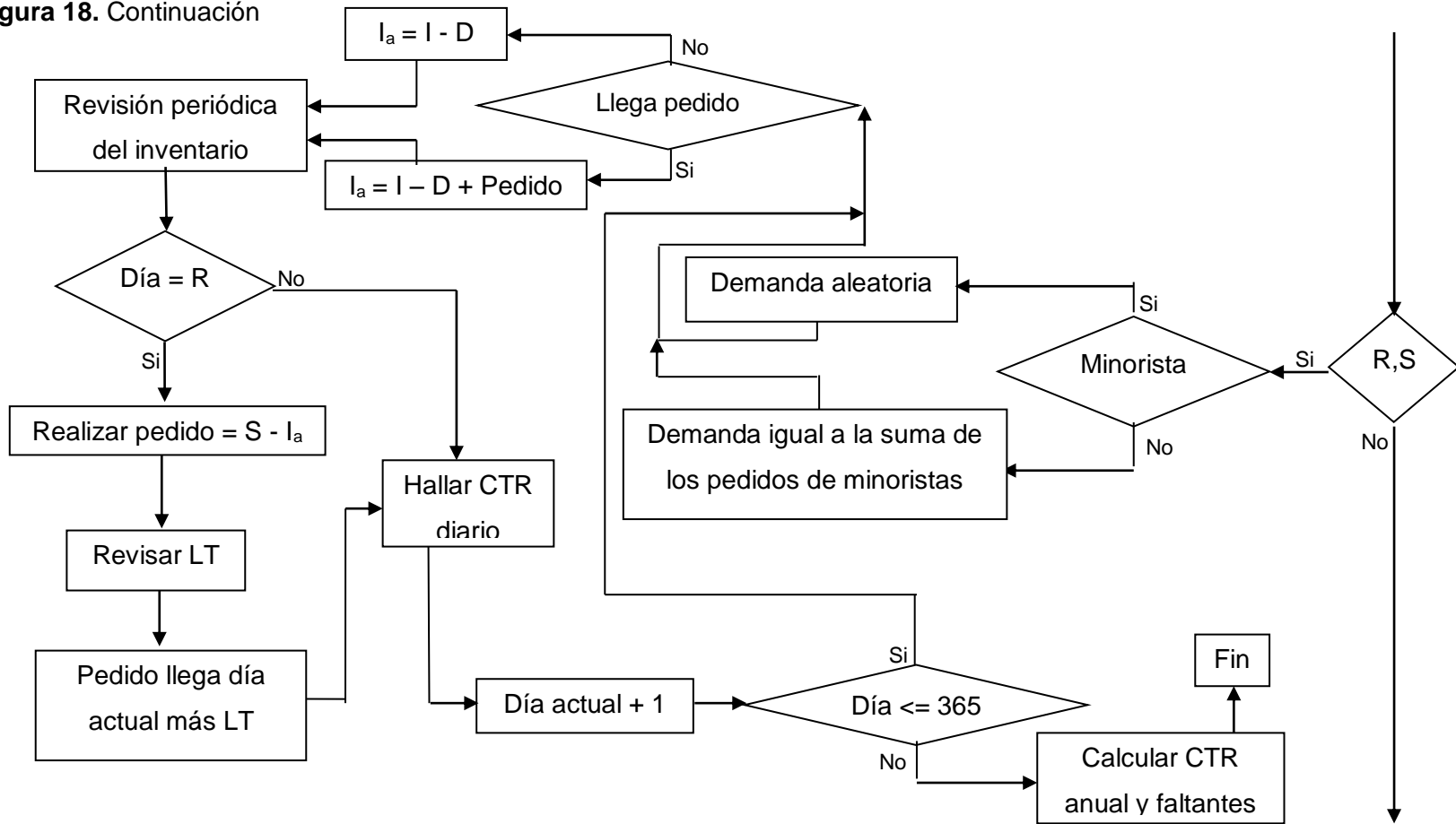
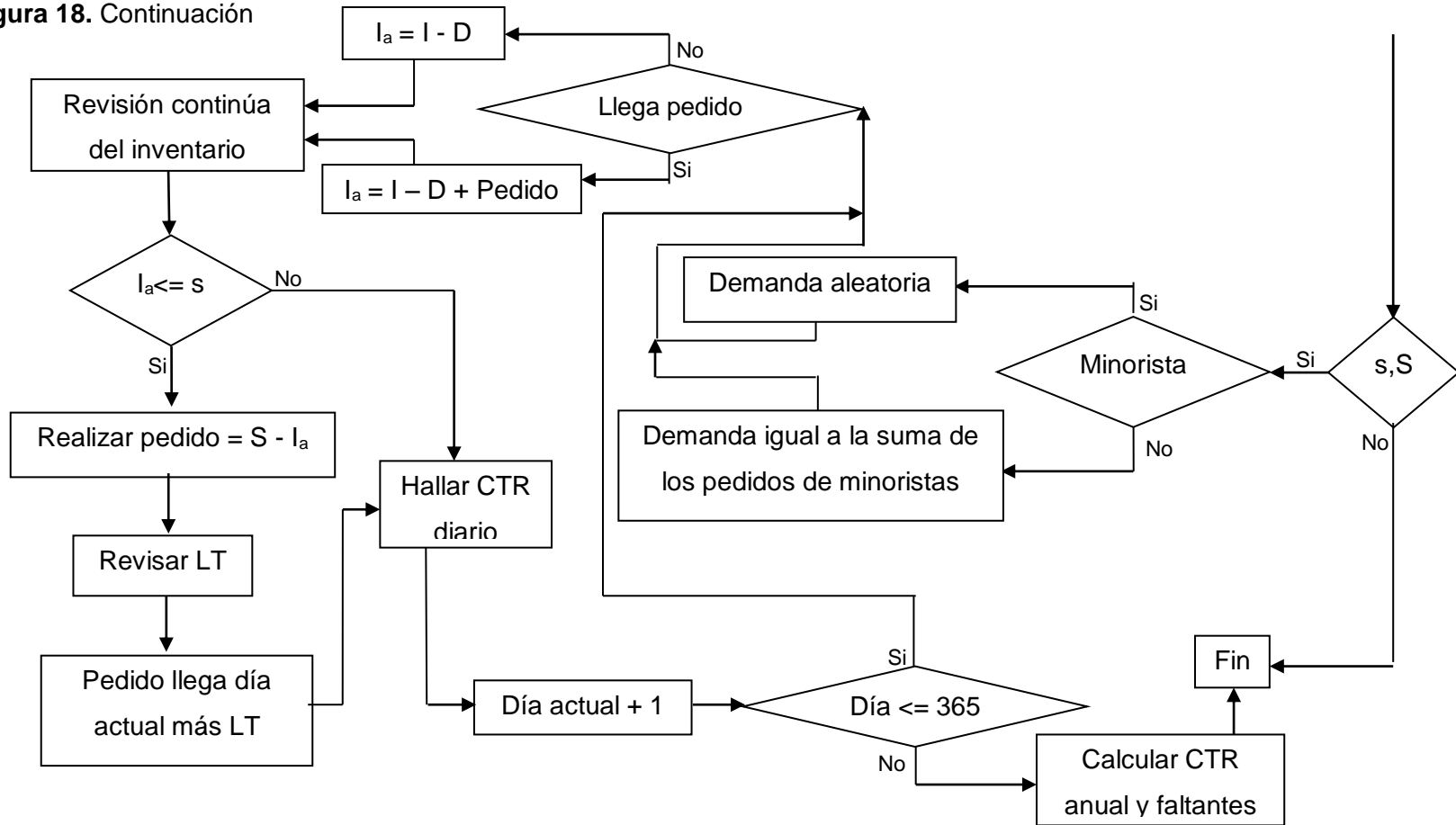


Figura 18. Continuación



Fuente: Elaboración propia

### **7.3 TRASLADO DEL MODELO Y VALIDACIÓN**

El modelo de simulación fue formulado en hojas de cálculo del software Excel de tal forma que sea posible la evaluación de los diferentes escenarios que se presentan en un sistema constituido por cuatro eslabones, y donde es posible que cada uno de ellos pueda hacer uso de una de las tres políticas de control de inventarios simuladas, formulación correspondiente al traslado del modelo conceptual al computador, mediante la cual se permite conocer el costo total relevante diario y anual, y los faltantes presentados de acuerdo al nivel de inventario, produciendo los principales cambios en el sistema la demanda y las cantidades de reabastecimiento.

El modelo conceptual y el traslado al computador fueron realizados con una constante verificación de su correcto funcionamiento; para la verificación y validación no se tuvo la posibilidad de una directa comparación con un sistema real, debido a que el caso desarrollado no representa valores existentes en las organizaciones simuladas, pero fue posible a pesar de esta situación verificar y validar el modelo enfocándose principalmente en reconocer que la simulación realiza realmente lo que se requiere y espera, es decir, que el inventario que se trae del día anterior se disminuye con la presencia de demanda, se incrementa si hay pedidos que llegan, se realiza una orden de pedido cuando se requiere de acuerdo a los parámetros, se calcula el costo diario y anual, y se tiene información de los faltantes, todo realizado durante los 365 días, por lo que su verificación se realizó prestando atención detallada al comportamiento día a día del modelo; lo anterior como recurso para la verificación, usando como referente para la validación el costo total relevante obtenido de los modelos generales del s,Q y R,S, comparado con el costo total relevante anual presentado en los 365 días, donde su aproximación entre los costos indican que el modelo utilizado durante los días se puede considerar una representación aproximada del sistema en su operación diaria, dando validez a la formulación realizada para todos los sistemas de control y en todos los componentes. Los datos de CTR de los modelos

generales y del costo total obtenido de la simulación día a día se presentan en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Datos referentes para la validación

	CTR			
	s,Q		R,S	
	Modelo General	Simulación	Modelo General	Simulación
<b>Minorista 1</b>	3.477.764	3.181.090	3.786.559	3.516.385
<b>Minorista 2</b>	3.060.835	2.955.175	3.415.245	3.265.045
<b>Minorista 3</b>	1.987.766	1.907.135	2.113.684	1.891.930

Fuente: Elaboración propia

Los datos anteriores utilizados como herramienta de validación muestran de forma clara que los valores obtenidos para los minoristas en los dos sistemas de control son superiores en los modelos generales comparado con los costos totalizados de manera anual del día a día de la simulación, la posible causa a esta situación se encuentra en que el modelo general considera un costo asociado a una probabilidad de faltantes en el periodo posterior al que se realiza un pedido, faltantes que no se generan necesariamente si se analiza el sistema de manera diaria; a pesar de esta diferencia los valores son aproximados, indicando que el modelo simulado tiene una aproximación a los modelos del CTR encontrados en la literatura para estos sistemas de control, modelos que no permiten observar el comportamiento del inventario a través del tiempo, sino tener una base para la toma de decisiones y el costo en el que se incurriría en un periodo anual.

Es evidente que la validación se realiza teniendo en cuenta sólo el nivel de minoristas de la cadena de abastecimiento y dos sistemas de control, esto con el fin de determinar que el modelo planteado responde a las necesidades de la simulación, y por lo cual podrá ser aplicado a cualquier nivel de la cadena de abastecimiento como el proveedor, y utilizado para simular el sistema de control s,S; es de esta manera como no se hace o se valida con datos del proveedor, debido a que la demanda utilizada en los modelos generales correspondientes a

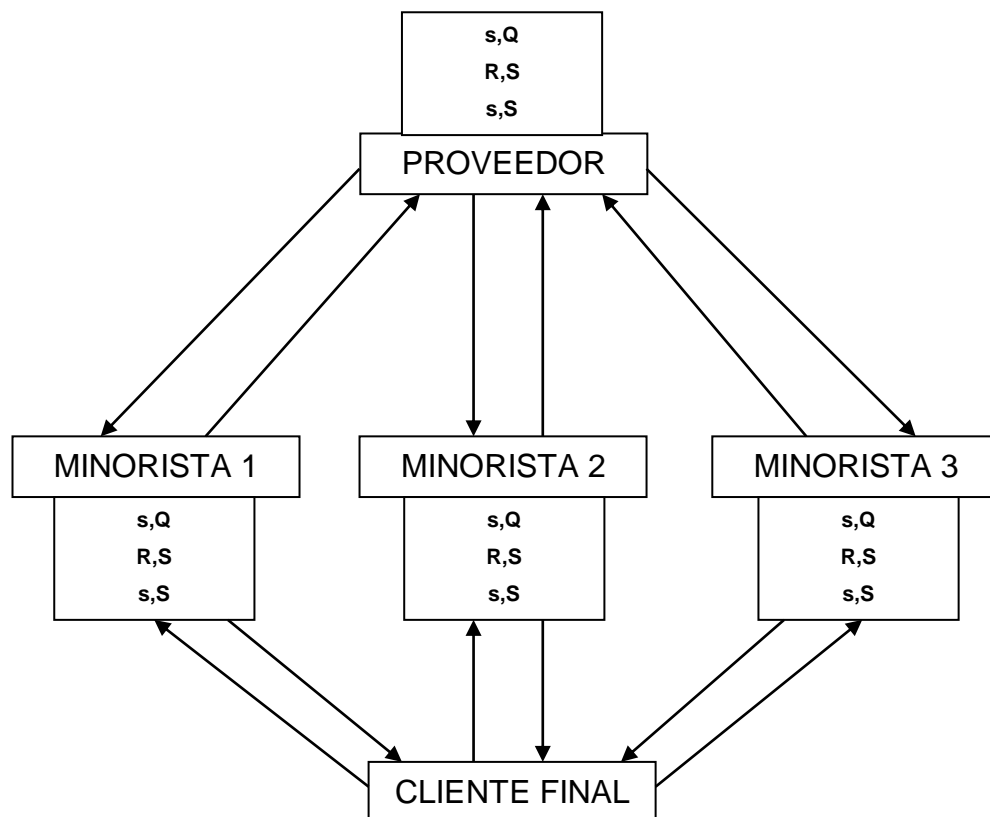


este es diaria, sólo con el fin de determinar los parámetros de interés, pero en realidad durante el transcurso de la simulación la demanda no es diaria, por lo que la discrepancia que existe entre los CTR es mayor; de igual forma no se valida con el sistema de control s,S debido a que no se encuentra un modelo general para el cálculo del CTR, por lo que se hace uso de los parámetros que requiere este sistema de control y que fueron hallados en las otras políticas. Los datos del cuadro 7 presentan la información suficiente para conocer que la naturaleza del modelo usado en la simulación es válida en los casos utilizados.

## 8 RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL CASO TEÓRICO

El caso hipotético o teórico realizado requiere para el análisis de resultados la generación de diferentes escenarios que son los que permitirán el estudio del efecto generado por el uso de diferentes políticas de control de inventarios, por lo que cada escenario lo define las combinaciones posibles que se pueden presentar entre los elementos de la cadena de abastecimiento, al poder operar con los sistemas de control definidos como de interés en el estudio, la figura 19 ilustra de una mejor manera los elementos y la política de control que se puede definir en cada componente para la simulación.

**Figura 19.** Representación gráfica de los posibles escenarios



Fuente: Elaboración propia

La figura 19 muestra las interacciones entre el cliente final-minoristas-proveedor, donde fluye el producto de acuerdo a las órdenes de pedido o demanda, y así

mismo se satisface, de acuerdo a las condiciones de operación y sistema de control utilizado, donde en cada escenario le corresponde a cada componente un sistema de control para su funcionamiento, de esta manera los diferentes escenarios que se pueden presentar se muestran en el cuadro 8.

**Cuadro 8.** Escenarios basados en las posibles combinaciones

Escenario	Minorista 1	Minorista 2	Minorista 3	Proveedor		
1	s,Q	s,Q	s,Q	s,Q	R,S	s,S
2	s,S	s,Q	s,Q			
3	s,Q	s,S	s,Q			
4	s,Q	s,Q	s,S			
5	R,S	s,Q	s,Q			
6	R,S	s,S	s,Q			
7	R,S	s,Q	s,S			
8	s,Q	R,S	s,Q			
9	s,S	R,S	s,Q			
10	s,Q	R,S	s,S			
11	s,Q	s,Q	R,S			
12	s,S	s,Q	R,S			
13	s,Q	s,S	R,S			
14	R,S	R,S	R,S			
15	s,S	R,S	R,S			
16	R,S	s,S	R,S			
17	R,S	R,S	s,S			
18	s,Q	R,S	R,S			
19	R,S	s,Q	R,S			
20	R,S	R,S	s,Q			
21	s,S	s,S	s,S			
22	s,Q	s,S	s,S			
23	s,S	s,Q	s,S			
24	s,S	s,S	s,Q			
25	R,S	s,S	s,S			
26	s,S	R,S	s,S			
27	s,S	s,S	R,S			

Fuente: Elaboración propia

En cada escenario los componentes de la CA pueden hacer sólo uso de un sistema de control, por lo que existe la posibilidad de que se presenten 27 diferentes combinaciones en el nivel de los minoristas, lo que produce una demanda diferente para los tres posibles sistemas de control bajo los cuales

puede operar el proveedor; de tal manera que cada combinación de los minoristas es simulada con cada uno de los sistemas de control del proveedor, y es lo que representa un escenario en la simulación; realizándose el análisis de las variables de decisión de interés para el estudio no sólo con los resultados totales de los escenarios, sino también analizando los datos obtenidos de las políticas de control en cada entidad u organización de forma individual.

Los parámetros iniciales permiten el cálculo de los datos de interés para la simulación, denominados anteriormente parámetros derivados, cuyo valor hallado son basados en los modelos generales, siendo los datos fundamentales para el sistema simulado durante los 365 días estudiados, obteniéndose así los parámetros con los que realmente operarán los sistemas de control s,Q, R,S y s,S, definidos principalmente por el punto de reorden, cantidad económica a ordenar, revisión periódica e inventario máximo para cada eslabón, valores obtenidos como resultado de los modelos y que son diferentes para los minoristas y proveedores, debido a sus condiciones de operación iniciales. En el sistema s,S para todos los componentes se hace uso del punto de reorden e inventario máximo de los sistemas s,Q y R,S.

Los valores utilizados en la simulación como parámetros durante los 365 días y que fueron hallados mediante los modelos generales y parámetros iniciales son definidos en el cuadro 9.

**Cuadro 9.** Parámetros fijados a partir de los modelos generales

	s,Q		R,S		s,S	
	s	Q	R	S	s	S
Minorista 1	71	164	14	247	71	247
Minorista 2	33	168	19	217	33	217
Minorista 3	41	95	19	141	41	141
Proveedor	161	620	26	811	161	811

Fuente: Elaboración propia

La simulación de los tres diferentes sistemas de control en los minoristas con los parámetros que determinan su funcionamiento y bajo una demanda generada con

distribución normal y tiempos de reposición aleatorios hacen que se presente diferentes CTR y faltantes en el que incurriría el eslabón por el manejo del inventario durante el año, valores que dependen de la política de control utilizada, los resultados de la simulación para los minoristas se presentan en el cuadro 10.

**Cuadro 10.** CTR y días con faltantes de los minoristas

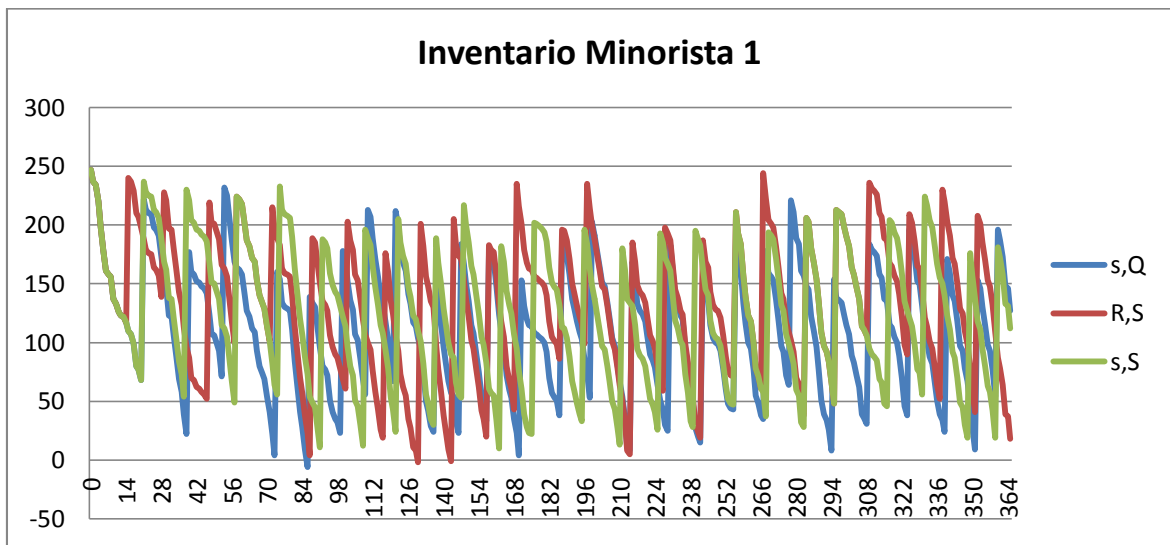
	s,Q		R,S		s,S	
	CTR	No. Días Faltantes	CTR	No. Días Faltantes	CTR	No. Días Faltantes
Minorista 1	3.181.090	1	3.516.385	2	3.200.875	0
Minorista 2	2.955.175	0	3.265.045	0	2.995.085	0
Minorista 3	1.907.135	0	1.891.930	2	2.052.720	4

Fuente: Elaboración propia

El minorista 1 de acuerdo a sus condiciones de operación incurre en el menor CTR cuando el sistema de control simulado corresponde al s,Q, incidiendo en un costo mayor cuando se simula el sistema R,S, por lo que el sistema s,S arroja como costo final un valor intermedio respecto a los sistemas de control anteriores; lo que indica el efecto que puede llegar a tener las decisiones en la gestión de inventarios en los minoristas, siendo para este punto individual de la cadena el mejor sistema de control en cuanto a costo se refiere el s,Q; un panorama diferente se observa si se analiza desde el punto de vista de nivel de servicio o faltantes, ya que a pesar de que el sistema s,Q resulta ser el más económico, mantiene una condición de faltante de un día con una cantidad de 6 unidades en los 365 días, produciendo un costo por faltantes de \$40.500 (véase más detalle de los faltantes de los minoristas en el Anexo A), mientras que en el sistema R,S estaría en esta condición dos días con un costo de faltantes de \$20.250, equivalentes a 3 unidades faltantes, donde el sistema s,S no se encuentra ningún día en esta condición. Lo anterior refleja el efecto que presenta tanto en el costo como en el nivel de servicio el sistema de control que sea empleado por el eslabón, de tal manera que aunque el s,Q es el más económico estaría sacrificando el nivel de servicio brindado, pero no necesariamente el más costoso va a incrementar el nivel de servicio, debido a que a pesar de que el R,S es el de mayor valor también presenta faltantes, encontrándose el mejor nivel de servicio en el sistema s,S,

cuyo costo es intermedio, por lo que es decisión del minorista definir bajo cual sistema de control desea trabajar de acuerdo a sus intereses de costo y nivel de servicio, teniendo en cuenta que el más costoso presenta un incremento del 10,54% respecto al más económico, pero menos unidades de faltantes, y el intermedio tiene un incremento del 0,62% respecto al más económico, pero sin presentar faltantes, es decir un mayor nivel de servicio. El comportamiento del nivel de inventario del minorista 1 durante los 365 días se presenta en la figura 20, y del CTR en la figura 21.

**Figura 20.** Nivel de inventario minorista 1

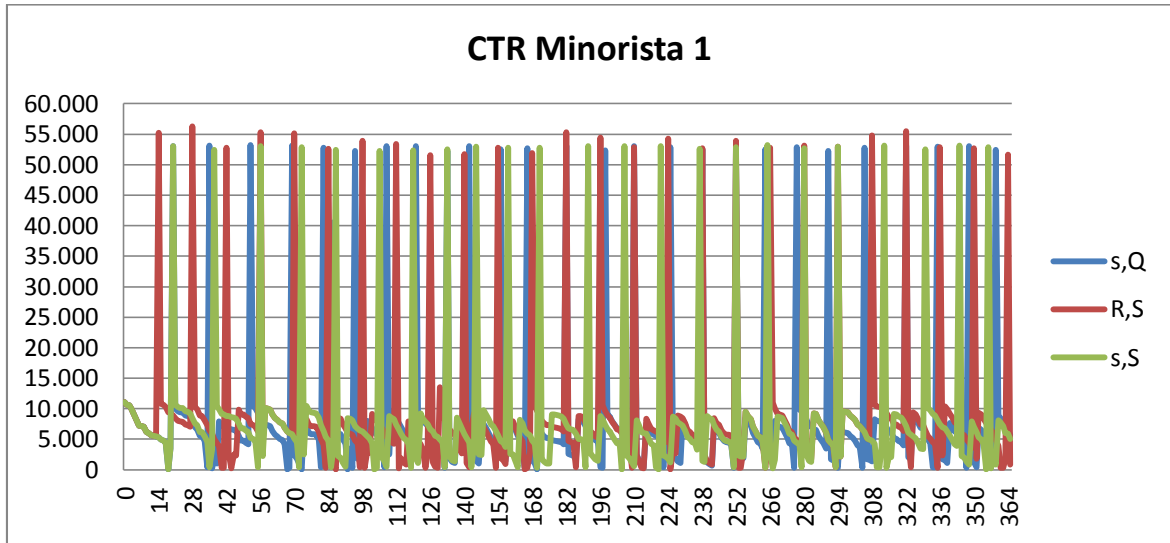


Fuente: Elaboración propia

La figura 20 y 21 permiten visualizar de una manera más detallada la explicación de los costos totales obtenidos, donde el nivel de inventario que se mantiene haciendo uso del sistema s,Q es en gran parte de los días inferior al nivel de los otros dos sistemas de control, teniéndose mayor cantidad de inventario diario con el sistema R,S; minorista en el que el inventario promedio diario mantenido con el sistema s,Q es de 112 unidades, con el sistema R,S de 133 unidades, y con el sistema s,S de 125 unidades; comportamiento que se percibe de la misma manera e influencia en el costo, siendo los picos más altos cuando se realizan las órdenes,

debido a que hace que se incremente el costo por la gestión realizada, valor que disminuye al siguiente día de realizar la orden dependiendo del nivel de inventario.

**Figura 21.** Costo total relevante minorista 1



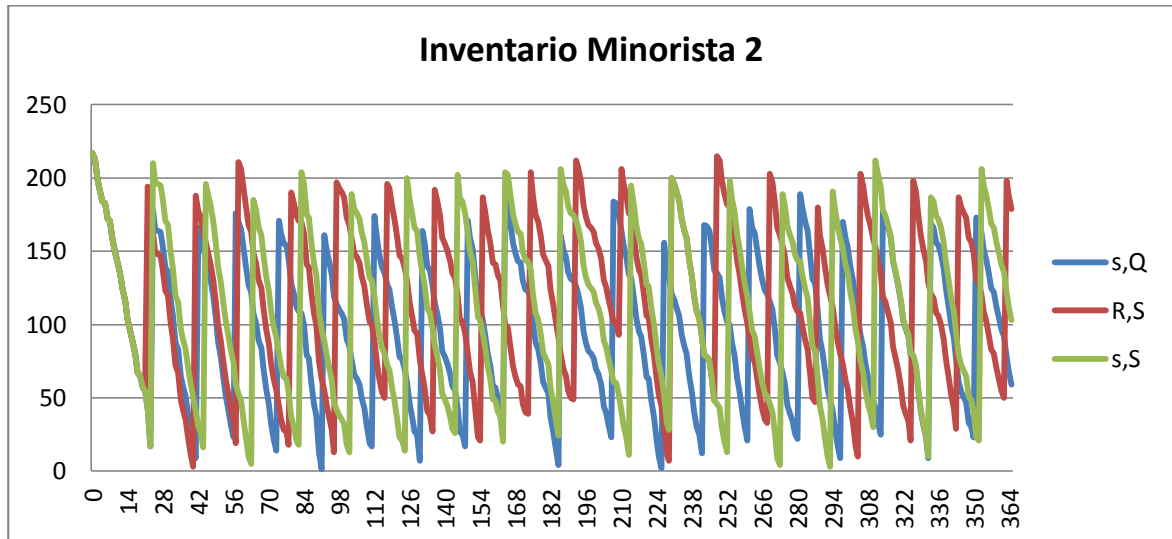
Fuente: Elaboración propia

El número de pedidos realizados en el año depende también del sistema de control usado, lo que hace que con el sistema s,Q o R,S se deban realizar 26 órdenes en el año (véase más detalle de las órdenes en el Anexo B), y con el sistema s,S una cantidad de órdenes igual a 23, generándose un costo anual por las órdenes realizadas de \$1.300.000 en los dos primeros sistemas de control mencionados, y en el sistema s,S un costo por órdenes de \$1.150.000. Con s,Q se genera el menor costo total a pesar de que se realice el mismo número de órdenes que en R,S, siendo este último el de mayor valor, pero donde existen menos faltantes respecto a s,Q, siendo s,S que con menor cantidad de órdenes requeridas presenta un costo intermedio con ningún faltante.

En el minorista 2 se observa mediante la simulación que el menor CTR es generado con el sistema s,Q, donde de la misma manera que el minorista 1 el sistema que mayor valor arroja es el R,S obteniéndose también un valor intermedio con el sistema s,S; sistemas de control que no presentan faltantes bajo

las condiciones de operación de este minorista, indicando el mismo nivel de servicio en cualquiera de los tres casos, por lo que las decisiones de la política de inventario puede estar enfocada sólo a la variable de costo, siendo la más favorable para el control de su inventario el s,Q. Los datos anteriores indican para el minorista 2 el efecto que puede tener en sus costos la decisión de política de inventario que tome, incurriendo en el R,S en un incremento de 10,49%, y en el s,S en un incremento de 1,35%, respecto al más económico. El comportamiento del nivel de inventario del minorista 2 se presenta en la figura 22, y del CTR en la figura 23.

**Figura 22.** Nivel de inventario minorista 2



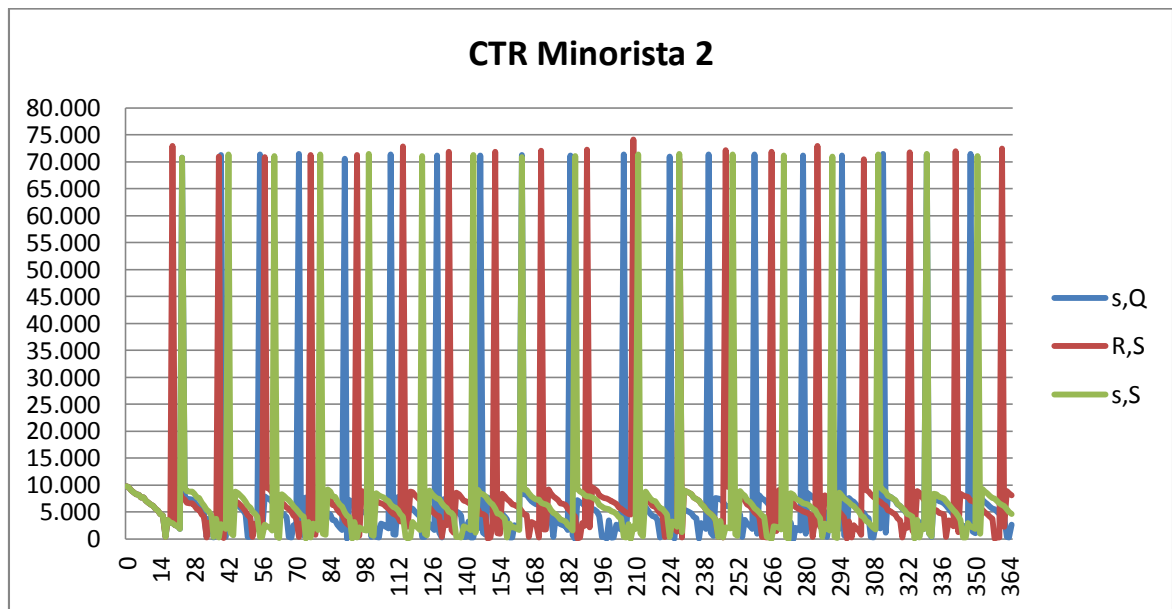
Fuente: Elaboración propia

La figura 22 y 23 muestra cómo el nivel de inventario que se mantiene durante los días simulados en el sistema s,Q se encuentra por debajo del mantenido en los demás sistemas de control en la mayoría de los días, manteniéndose un promedio diario de inventario con s,Q de 99 unidades, con R,S de 117 unidades, y con s,S de 110 unidades, niveles de inventarios diarios que influyen en el costo total relevante y cuyo valor máximo generado ocurre el día que se realiza la orden, presentando un comportamiento donde los costos diarios del sistema s,Q tienden a estar por debajo, comparado con los otros sistemas de control, lo que hace que



los costos totales anuales sean por montos iguales a los ya descritos en el cuadro respectivo, cuya diferencia se presenta con poca influencia por el número de órdenes realizadas en cada sistema de control, debido a que no existe alta variabilidad entre el número total de órdenes realizadas al año, teniéndose tanto en el sistema s,Q como en el R,S una cantidad de 19 pedidos realizados, equivalentes a un valor de \$1.330.000 en cada política de control, y una cantidad de 17 órdenes equivalentes a \$1.190.000 en el s,S, lo que indica que la diferencia en los costos totales es más influenciada por el nivel de inventario que se mantiene al operar con determinado sistema de control. Con la política de control s,Q se presenta el menor costo total relevante a pesar de realizarse el mismo número de pedidos que en R,S, siendo este último el más costoso; órdenes que realizadas en el sistema s,S son menores pero el costo es mayor al más económico, políticas de control bajo las cuales el minorista no presenta faltantes.

**Figura 23.** Costo total relevante minorista 2



Fuente: Elaboración propia

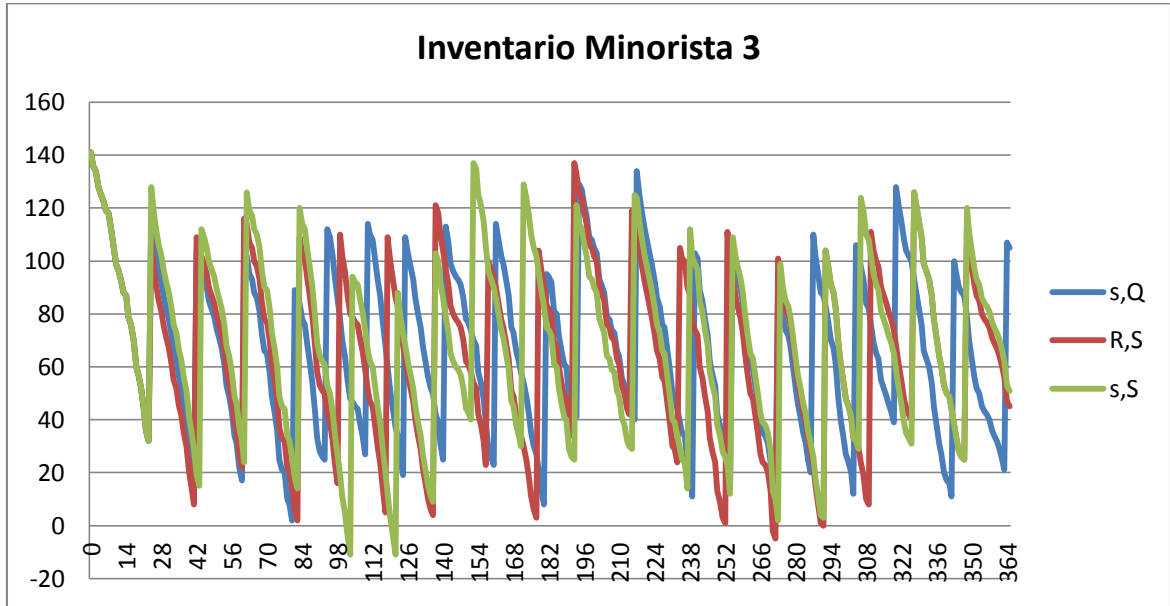
El minorista 3 de acuerdo a sus parámetros de operación y sistemas de control de inventarios incurre en el menor CTR cuando opera con una política de control R,S,

siendo s,S el que más costo representa, existiendo un incremento de 8,5% respecto al menor; siendo generado un CTR intermedio con s,Q, representando un aumento de 0,8% respecto a R,S. Efectos que son producidos no solamente en el costo sino también en el nivel de servicio, donde el sistema R,S siendo el más económico presenta faltantes durante 2 días, por un valor de \$47.250 equivalente a 7 unidades faltantes, y el sistema s,S siendo el más costoso coincide con el menor nivel de servicio prestado, existiendo 4 días faltantes que equivalen a \$202.500, que totalizados en cantidades corresponden a 30 unidades faltantes; operación que con las condiciones simuladas hacen que bajo un sistema s,Q los faltantes presentados sean igual a cero, por lo que al igual que el minorista 1 la política de control que mejor se acopla al eslabón depende de los intereses que se tienen, referido a la prestación de un excelente servicio sin interesar el costo, o la prestación de un aceptado nivel de servicio más bajo con el fin de incurrir en menores costos. El comportamiento del nivel de inventario del minorista 3 se presenta en la figura 24, y del CTR en la figura 25.

En la figura 24 y 25 se observa que el sistema de control R,S al ser el que menor costo anual representa, mantiene el menor nivel de inventario en gran parte de los días, comparado con los demás sistemas de control, manteniéndose en este sistema un inventario promedio de 66 unidades, en el s,S siendo el más costoso un inventario promedio de 69 unidades, y en el s,Q un inventario promedio de 67 unidades; al igual que los minoristas anteriores el mayor costo diario se presenta en el momento que se realiza una orden en cualquiera de los sistemas, presentándose para éste una particularidad en el sistema s,S, existiendo valores elevados atípicos cuya razón se debe a los faltantes existentes durante esos días. El número de órdenes realizadas en s,Q, R,S, y s,S son 20, 19 y 18 generando costos de \$800.000, \$760.000, y \$720.000 respectivamente. Con la política de control s,S a pesar de realizarse menos órdenes es el más costoso y con mayores faltantes; en R,S se requiere de más órdenes, se incurre en el menor costo, pero

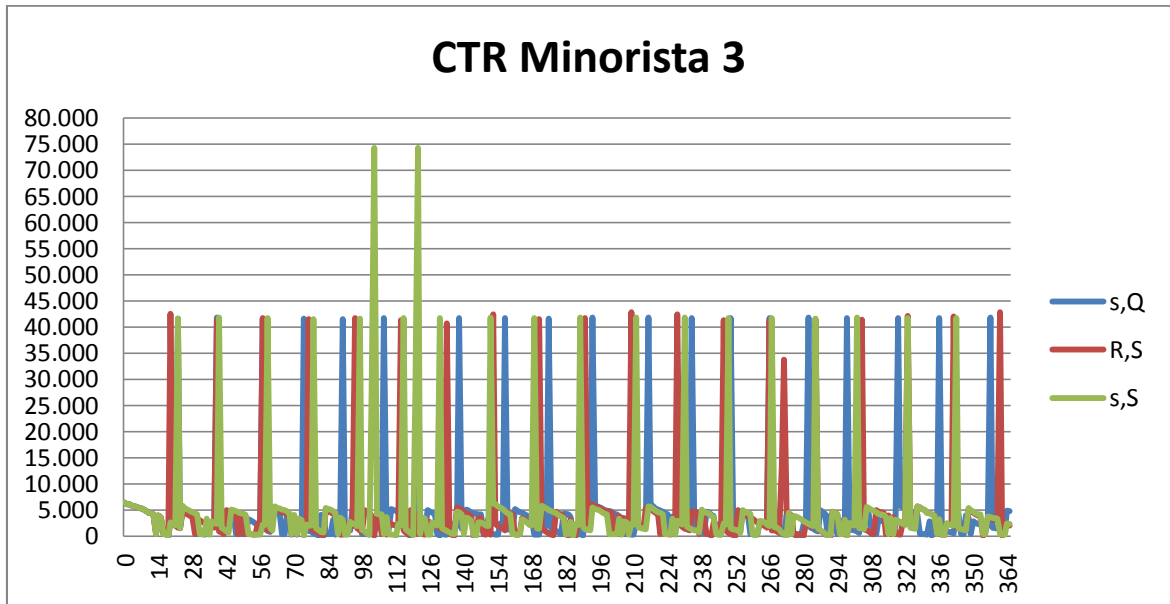
de igual manera se presentan faltantes, y en el s,Q se hacen mayores órdenes, se tiene un costo intermedio y no hay presencia de faltantes.

**Figura 24.** Nivel de inventario minorista 3



Fuente: Elaboración propia

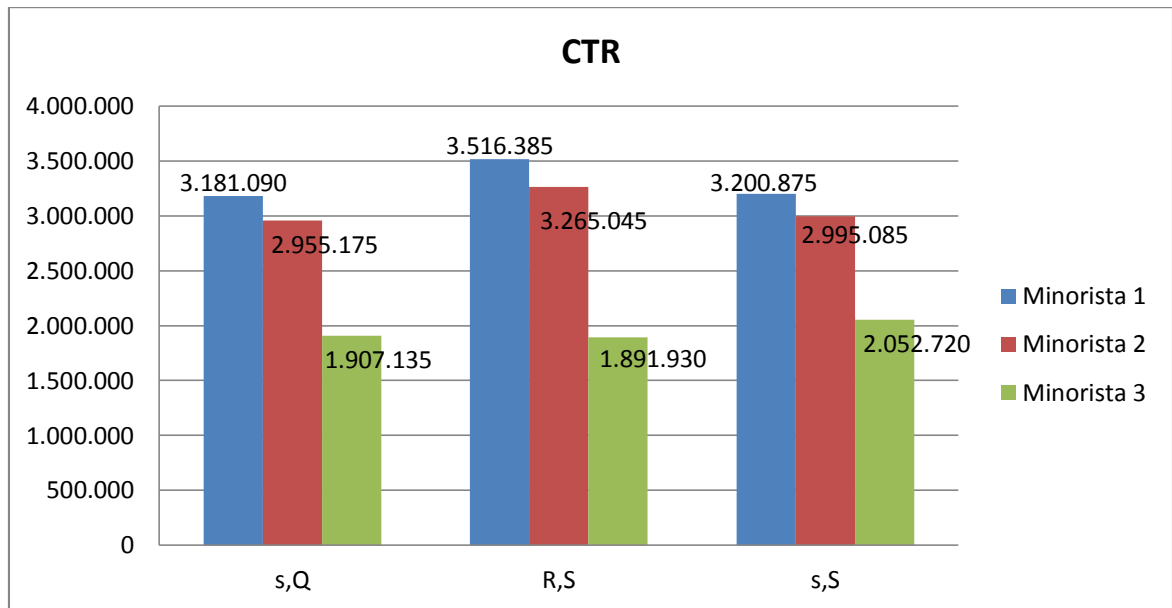
**Figura 25.** Costo total relevante minorista 3



Fuente: Elaboración propia

La descripción anterior de los resultados de la simulación para los minoristas da a conocer cómo el sistema de control que el componente adopte como política puede influenciar en su costo y nivel de servicio de acuerdo a sus condiciones de operación, los valores del costo total relevante, el número de días con faltantes y el costo de las órdenes realizadas en los que incurre cada minorista de acuerdo al sistema empleado se muestra en la figura 26, 27 y 28 respectivamente.

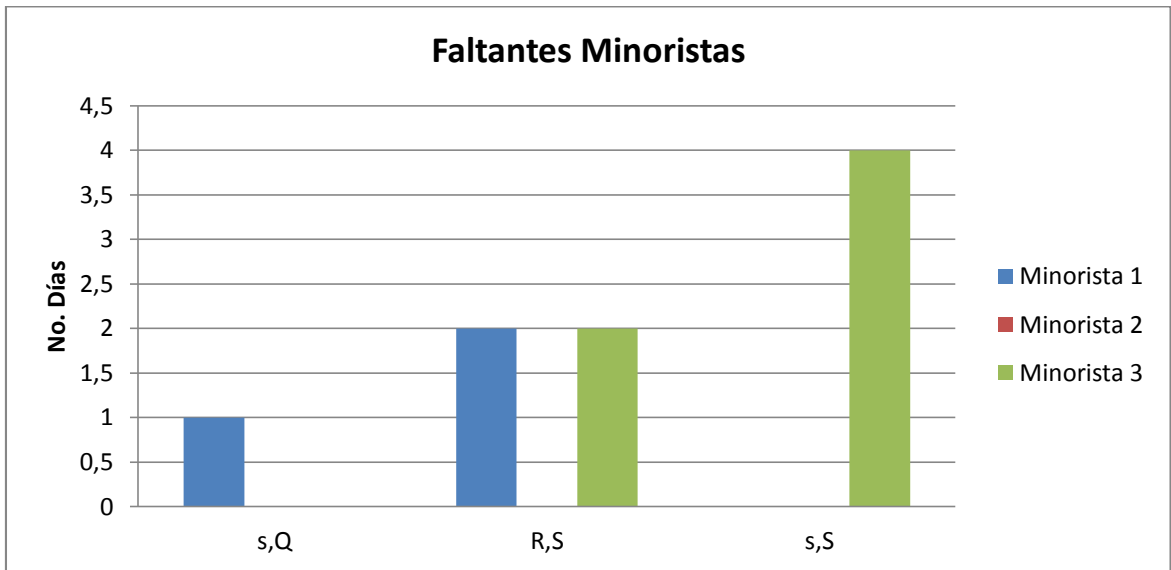
**Figura 26.** Costo total relevante minoristas



Fuente: Elaboración propia

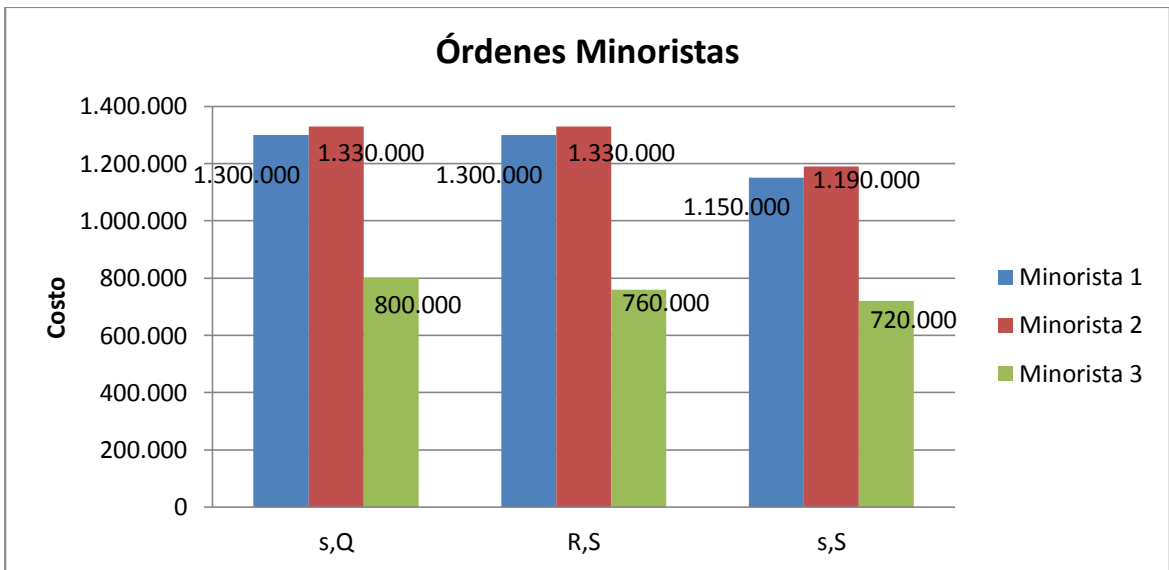
La figura 26 proporciona información adicional de cómo el contexto en el que se desenvuelve cada minorista presenta condiciones de operación diferentes que hacen que los costos en los que se incurre por la gestión de inventarios sean mayores para algunas organizaciones que para otras, y que en una misma organización estos pueden variar de acuerdo al sistema de control de inventarios usado en la gestión, de tal manera que para el caso teórico realizado es el minorista 1 el que mayor costo presenta para este nivel de la cadena de abastecimiento en cada una de las políticas de control simuladas, y el minorista 3 el de menor costo anual.

**Figura 27.** Número de días con faltantes de los minoristas



Fuente: Elaboración propia

**Figura 28.** Órdenes de minoristas

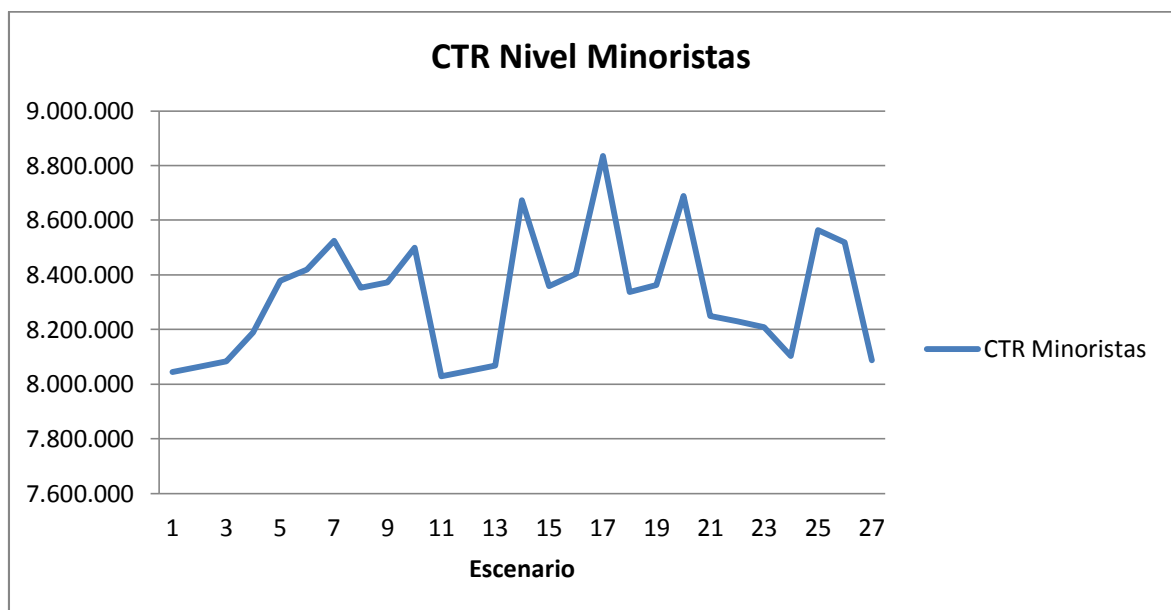


Fuente: Elaboración propia

La figura 28 proporciona información en la que se puede evidenciar que en cada sistema de control es el minorista 2 el que incurre en un mayor costo por el número de órdenes que requiere realizar, y el minorista 3 el de menor costo por el número de pedidos.

En los escenarios realizados para el análisis del caso se tienen diferentes combinaciones de los sistemas de control en el nivel de los minoristas, por lo que el costo total de este nivel depende de los valores de la figura 26 y las diferentes combinaciones, costo total relevante para el nivel, mostrado en la figura 29 de acuerdo a la combinación determinada por el escenario.

**Figura 29.** Costo total relevante para el nivel de minoristas



Fuente: Elaboración propia

El CTR del nivel de minoristas representado en la figura 29 muestra que el mayor costo para este nivel se presenta con la combinación del escenario 17, correspondiente a R,S, R,S y s,S para el minorista 1, 2 y 3 respectivamente, produciendo un valor total de \$8.834.150, donde el menor costo corresponde a la combinación del escenario 11, formada por s,Q, s,Q y R,S con un valor de \$8.028.195; es lógico que esta combinación sea la de menor valor para este nivel de la cadena de abastecimiento, debido a que son los sistemas de control que en cada minorista generan el menor costo. A pesar de que anteriormente se mencionó que para algunos minoristas la decisión de la política de control a utilizar depende de sus intereses de costo y nivel de servicio individuales, se debe tener en cuenta cómo esta decisión puede afectar el nivel o la cadena de

abastecimiento, ya que un cambio del sistema de control en la combinación de menor costo presentaría cambios tanto en el costo del nivel como en el nivel de servicio presentado en cada minorista, de tal manera que en la combinación s,Q, s,Q y R,S tendría faltantes el minorista 1 y el minorista 3, basado en la figura 27, donde para que el minorista 1 no presente faltantes debe de operar con el sistema s,S, el minorista 2 con cualquiera de los sistemas de control, y el minorista 3 con el sistema s,Q, pero estas combinaciones serán equivalentes a un aumento en el costo total relevante de los tres componentes. El CTR del nivel de los minoristas de acuerdo a la combinación en cada uno de los escenarios se puede apreciar en el cuadro 12.

La combinación de los sistemas de control de los minoristas en cada escenario va a determinar la demanda percibida por el proveedor, el cual mantiene niveles de inventario diferentes dependiendo del escenario; el costo total relevante anual del proveedor de acuerdo al sistema de control empleado por éste y a los usados en las diferentes combinaciones por los minoristas se encuentra en el cuadro 12; es así como el proveedor operando con s,Q y simulado con las 27 combinaciones incurriría en el menor CTR cuando los minoristas 1, 2 y 3 operan con s,S, s,S, y s,Q respectivamente (escenario 24), combinación del escenario donde también se presenta el menor número de faltantes para el proveedor; esta combinación en los minoristas es la más económica operando con s,Q, a pesar de que no sea la combinación en los minoristas que requiera de un menor número de alistamientos. El mayor CTR para el proveedor dentro de la simulación del sistema s,Q es producido cuando los minoristas 1, 2 y 3 operan con R,S, R,S y R,S respectivamente (escenario 14), produciéndose en esta combinación de los minoristas el mayor número de faltantes del sistema s,Q; combinación en la cual el número de alistamientos necesarios son inferiores a los requeridos en el escenario 24, pero aun así presenta el mayor costo total relevante para el proveedor que opera con s,Q. La simulación del sistema R,S en el proveedor arroja como resultado que se incurre en el menor CTR cuando los minoristas operan con R,S,

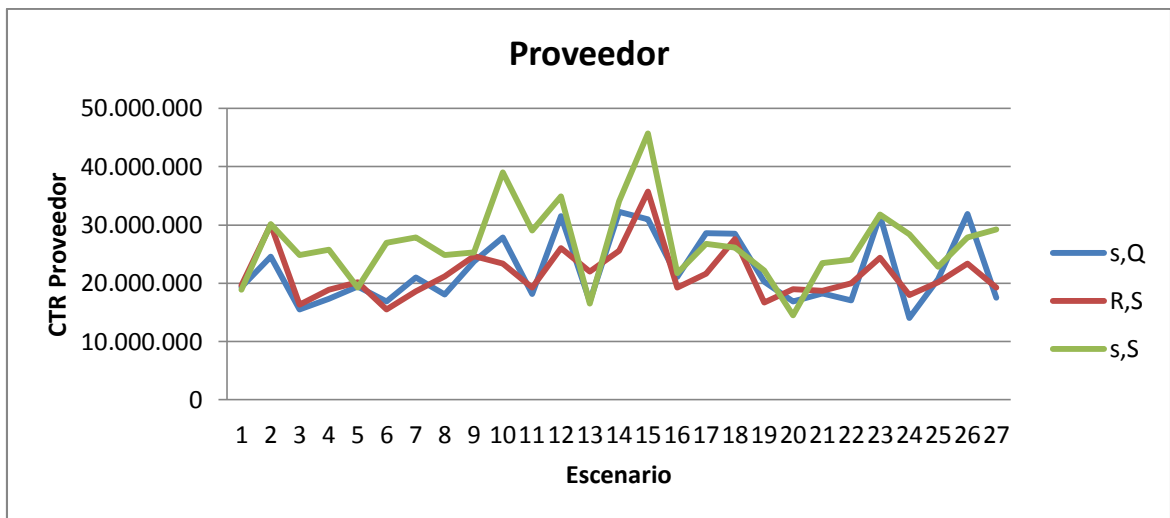
s,S y S,Q (escenario 6), sistema de control en el que el menor número de faltantes se presenta con esta combinación, pero resulta ser mayor a los faltantes de la configuración que menor CTR produce en el sistema s,Q; combinación en el que el número de alistamientos requeridos es de 59 con un costo de \$7.080.000, siendo también mayor a los requeridos en la combinación 24 del s,Q. Para el proveedor el mayor CTR operando con R,S es presentado cuando la combinación de los minoristas es s,S, R,S y R,S (escenario 15), combinación en la que también se encuentra el mayor número faltantes para este sistema de control, siendo este valor mayor respecto al número de faltantes del sistema s,Q, y donde se requiere el menor número de alistamientos presentado en todas las configuraciones de los minoristas. La operación del proveedor con el sistema s,S percibe el menor costo cuando la combinación de los minoristas es R,S, R,S y s,Q (escenario 20), siendo la configuración que para este sistema de control representa el menor número de faltantes, presentando un valor intermedio entre el número de faltantes de las configuraciones que menor costo generan para el sistema s,Q y R,S, requiriéndose 60 alistamientos, iguales a \$7.200.000, número de alistamientos superiores a los requeridos en los demás sistemas de control. Operando bajo este mismo sistema de control el mayor CTR es generado cuando la combinación de los minoristas corresponde a s,S, R,S y R,S (escenario 15), el mismo escenario que en el sistema R,S, y con un mayor número de faltantes.

Los costos totales relevantes y el detalle de los faltantes para cada sistema de control del proveedor dependiendo de los sistemas de control utilizados por los minoristas se pueden ver en el cuadro 12 y Anexo A, y representados en la figura 30 y 31 respectivamente, al igual que los alistamientos del proveedor de acuerdo al escenario en el cuadro 11; es así como las variables de decisión de costo y faltantes se ven afectadas por el sistema de control de inventarios utilizado por el proveedor, haciendo que en cada uno existan variaciones generadas por las diferentes combinaciones de la gestión de los minoristas, de tal manera que para que el proveedor incurra en un menor costo dependiendo de su sistema de control, es necesario que exista un cambio en la configuración de los minoristas, lo



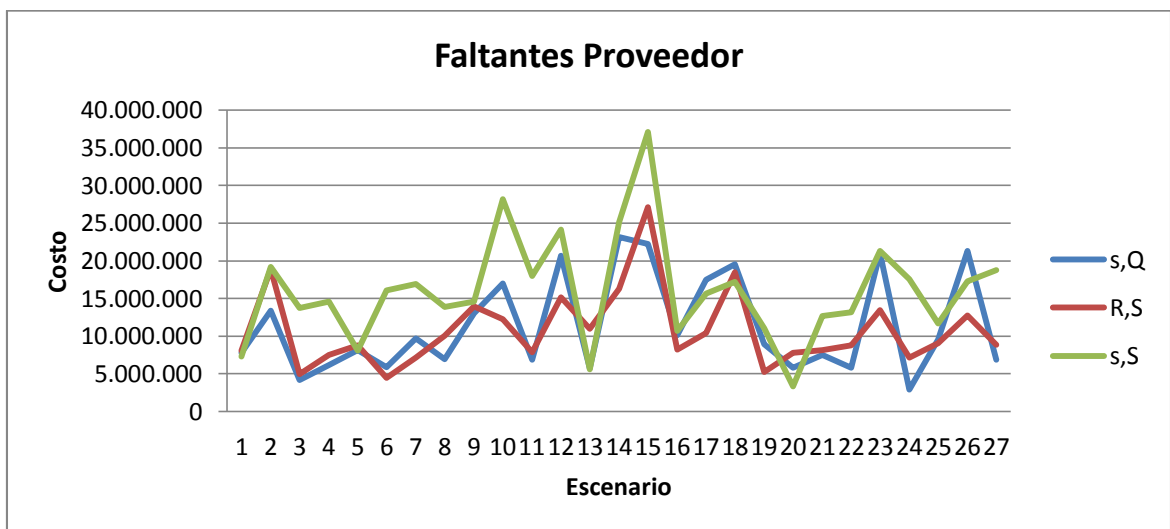
cual basado en las descripciones anteriores existirían también cambios en el nivel de servicio, siendo entre los costos inferiores de cada sistema de control el que menor costo produce el s,Q bajo la combinación de los minoristas ya descrita, convirtiéndose también en el cual se presenta el mejor servicio, aunque no sea en el que se realiza el menor número de alistamientos.

**Figura 30.** Costo total relevante para el proveedor



Fuente: Elaboración propia

**Figura 31.** Costo de faltantes del proveedor



Fuente: Elaboración propia

Los alistamientos del proveedor independientemente del sistema de control de inventarios del cual haga uso, depende del número de pedidos realizados por los minoristas, el cual varía de acuerdo a la combinación, donde el número de pedidos que debe alistar en una combinación de los minoristas va a ser el mismo número para cualquiera de los sistemas de control, por lo que lo interesante en el análisis de este punto es observar cómo la cantidad de pedidos que debe alistar en un año depende también del comportamiento de los minorista, influyendo en el CTR anual del proveedor y por lo tanto del sistema. Es así como la menor cantidad de alistamientos debe realizarse cuando la combinación en los minoristas es s,S, R,S y R,S y la mayor cuando es s,Q, s,Q y s,Q, combinaciones que no se encuentran en los escenarios que representan el menor costo para el proveedor; el número de alistamientos requeridos en las combinaciones de cada escenario se encuentra en el cuadro 11.

**Cuadro 11.** Alistamientos del proveedor

Escenario	Alistamientos	
	Proveedor	
	No. Alistamientos	Costo Alistamientos
1	63	7.560.000
2	60	7.200.000
3	62	7.440.000
4	61	7.320.000
5	61	7.320.000
6	59	7.080.000
7	61	7.320.000
8	60	7.200.000
9	57	6.840.000
10	59	7.080.000
11	61	7.320.000
12	58	6.960.000
13	59	7.080.000
14	44	5.280.000
15	40	4.800.000
16	59	7.080.000
17	60	7.200.000
18	43	5.160.000
19	62	7.440.000
20	60	7.200.000
21	56	6.720.000
22	60	7.200.000
23	58	6.960.000
24	58	6.960.000
25	59	7.080.000
26	56	6.720.000
27	55	6.600.000

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 12.** Resultados de la simulación (CTR)

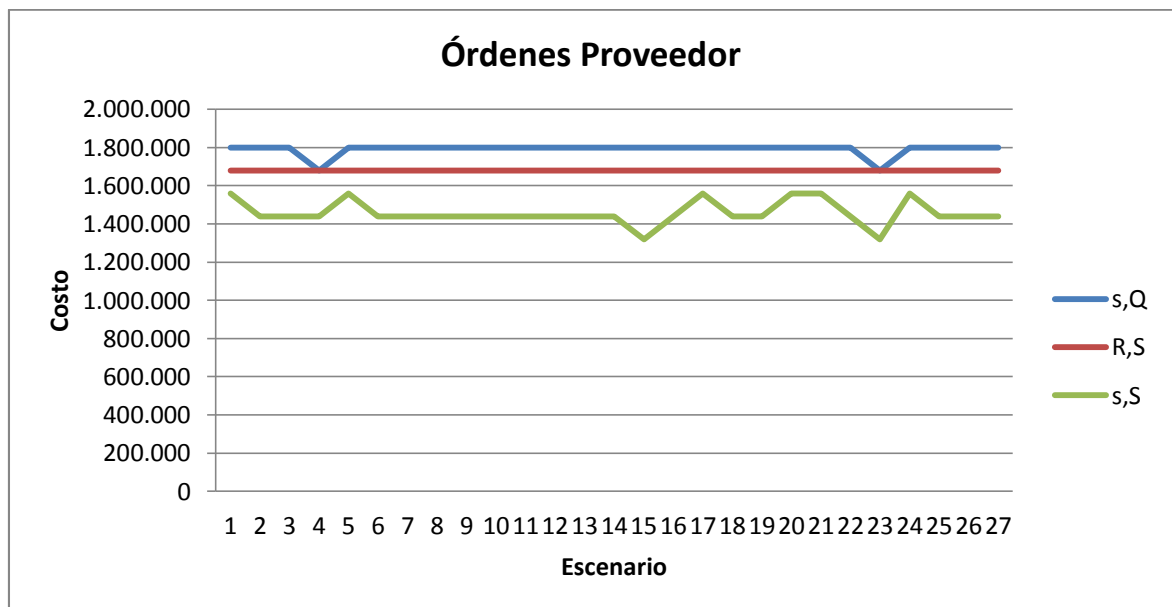
Escenario	Minorista 1	Minorista 2	Minorista 3	Minorista 1	Minorista 2	Minorista 3	CTR Minoristas	Proveedor					
								s,Q		R,S		s,S	
								CTR Proveedor	CTR Sistema	CTR Proveedor	CTR Sistema	CTR Proveedor	CTR Sistema
1	s,Q	s,Q	s,Q	3.181.090	2.955.175	1.907.135	8.043.400	19.309.110	27.352.510	19.626.960	27.670.360	18.867.960	26.911.360
2	s,S	s,Q	s,Q	3.200.875	2.955.175	1.907.135	8.063.185	24.580.740	32.643.925	30.006.090	38.069.275	30.125.820	38.189.005
3	s,Q	s,S	s,Q	3.181.090	2.995.085	1.907.135	8.083.310	15.528.960	23.612.270	16.325.880	24.409.190	24.849.045	32.932.355
4	s,Q	s,Q	s,S	3.181.090	2.955.175	2.052.720	8.188.985	17.319.840	25.508.825	18.889.755	27.078.740	25.737.195	33.926.180
5	R,S	s,Q	s,Q	3.516.385	2.955.175	1.907.135	8.378.695	19.460.025	27.838.720	20.154.780	28.533.475	19.238.490	27.617.185
6	R,S	s,S	s,Q	3.516.385	2.995.085	1.907.135	8.418.605	16.898.445	25.317.050	15.472.020	23.890.625	26.952.180	35.370.785
7	R,S	s,Q	s,S	3.516.385	2.955.175	2.052.720	8.524.280	21.028.575	29.552.855	18.564.870	27.089.150	27.874.305	36.398.585
8	s,Q	R,S	s,Q	3.181.090	3.265.045	1.907.135	8.353.270	18.015.480	26.368.750	21.200.535	29.553.805	24.819.930	33.173.200
9	s,S	R,S	s,Q	3.200.875	3.265.045	1.907.135	8.373.055	23.759.325	32.132.380	24.629.160	33.002.215	25.328.655	33.701.710
10	s,Q	R,S	s,S	3.181.090	3.265.045	2.052.720	8.498.855	27.892.740	36.391.595	23.354.520	31.853.375	38.973.810	47.472.665
11	s,Q	s,Q	R,S	3.181.090	2.955.175	1.891.930	8.028.195	18.140.535	26.168.730	19.215.750	27.243.945	29.040.105	37.068.300
12	s,S	s,Q	R,S	3.200.875	2.955.175	1.891.930	8.047.980	31.474.110	39.522.090	25.990.080	34.038.060	34.869.780	42.917.760
13	s,Q	s,S	R,S	3.181.090	2.995.085	1.891.930	8.068.105	16.891.980	24.960.085	22.012.950	30.081.055	16.476.840	24.544.945
14	R,S	R,S	R,S	3.516.385	3.265.045	1.891.930	8.673.360	32.252.706	40.926.066	25.543.440	34.216.800	34.111.800	42.785.160
15	s,S	R,S	R,S	3.200.875	3.265.045	1.891.930	8.357.850	30.957.150	39.315.000	35.755.710	44.113.560	45.687.240	54.045.090
16	R,S	s,S	R,S	3.516.385	2.995.085	1.891.930	8.403.400	21.099.900	29.503.300	19.254.825	27.658.225	21.765.435	30.168.835
17	R,S	R,S	s,S	3.516.385	3.265.045	2.052.720	8.834.150	28.538.835	37.372.985	21.628.860	30.463.010	26.743.140	35.577.290
18	s,Q	R,S	R,S	3.181.090	3.265.045	1.891.930	8.338.065	28.507.665	36.845.730	27.595.785	35.933.850	26.130.630	34.468.695
19	R,S	s,Q	R,S	3.516.385	2.955.175	1.891.930	8.363.490	20.261.430	28.624.920	16.712.805	25.076.295	22.160.085	30.523.575
20	R,S	R,S	s,Q	3.516.385	3.265.045	1.907.135	8.688.565	16.839.645	25.528.210	19.005.660	27.694.225	14.460.615	23.149.180
21	s,S	s,S	s,S	3.200.875	2.995.085	2.052.720	8.248.680	18.271.515	26.520.195	18.728.325	26.977.005	23.441.325	31.690.005
22	s,Q	s,S	s,S	3.181.090	2.995.085	2.052.720	8.228.895	17.045.475	25.274.370	19.993.290	28.222.185	23.991.630	32.220.525
23	s,S	s,Q	s,S	3.200.875	2.955.175	2.052.720	8.208.770	31.632.030	39.840.800	24.368.610	32.577.380	31.810.170	40.018.940
24	s,S	s,S	s,Q	3.200.875	2.995.085	1.907.135	8.103.095	14.024.805	22.127.900	17.944.755	26.047.850	28.429.605	36.532.700
25	R,S	s,S	s,S	3.516.385	2.995.085	2.052.720	8.564.190	20.672.445	29.236.635	20.145.450	28.709.640	22.799.025	31.363.215
26	s,S	R,S	s,S	3.200.875	3.265.045	2.052.720	8.518.640	31.919.325	40.437.965	23.358.585	31.877.225	27.812.445	36.331.085
27	s,S	s,S	R,S	3.200.875	2.995.085	1.891.930	8.087.890	17.476.440	25.564.330	19.261.005	27.348.895	29.189.700	37.277.590

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 12 presenta los costos totales como resultados de la simulación para cada minorista y el proveedor de acuerdo al sistema de control utilizado, al igual que el CTR para el nivel conformado por los minoristas y para el sistema global, donde los valores con celdas en rojo y verde de cada columna representan el mayor y menor costo respectivamente.

El número de órdenes realizadas por el proveedor depende de la política de control simulada, y de la demanda de los minoristas que determinan el nivel de inventario, donde en el sistema s,Q el número de órdenes realizadas corresponden a 15 pedidos en 26 de las combinaciones, siendo sólo el escenario 4 que requiere de 14 órdenes en el año; en el sistema R,S en todas las combinaciones se presentan 14 órdenes en el año; y en el sistema s,S se presentan entre 11 y 13 órdenes dependiendo de la combinación, siendo la del escenario 15 que provoca en el proveedor un menor número de órdenes realizadas. El costo total de las órdenes del proveedor en un año para cada sistema de control y cada una de las combinaciones se encuentra en la figura 32.

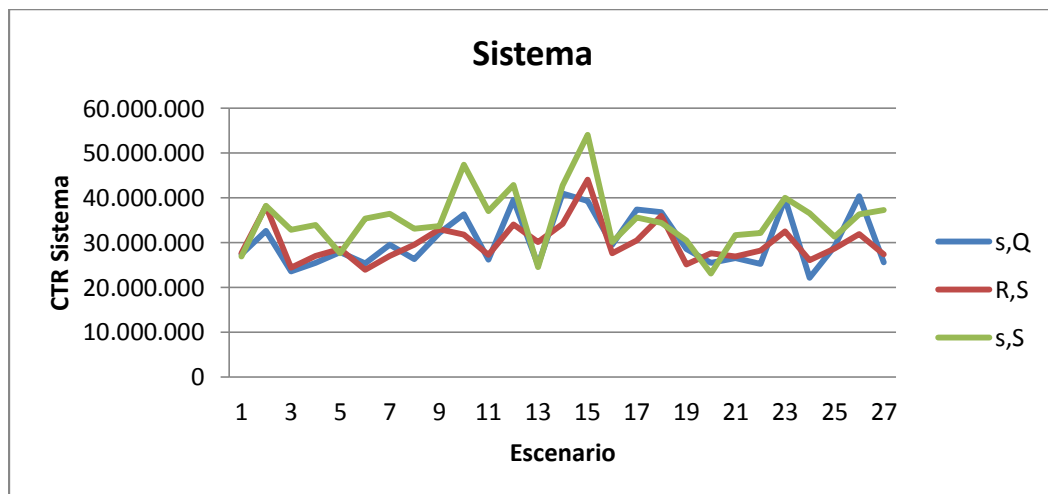
**Figura 32.** Costo órdenes del proveedor



Fuente: Elaboración propia

El costo total relevante del sistema se encuentra dado por la sumatoria de los costos de todos los eslabones de la cadena de abastecimiento, dependiendo del escenario simulado, donde los CTR del sistema para las tres políticas de control simuladas en el proveedor coinciden con la combinación que hace que el proveedor incurra en el menor y mayor costo, por lo que en la simulación del s,Q en el proveedor el menor costo total del sistema se presenta cuando los minoristas se encuentran operando con s,S, s,S y s,Q; sistema global en el que cuando el proveedor tiene como política de control R,S el menor costo corre cuando los sistemas de control de los minoristas 1, 2 y 3 son R,S, s,S y s,Q respectivamente; y el sistema s,S en el proveedor genera el menor costo en la cadena de abastecimiento cuando la combinación en los minoristas es R,S, R,S y s,Q. Los tres valores de costo total relevante del sistema correspondiente a estos escenarios descritos permiten observar que desde el punto de vista de costo es más beneficioso para la cadena de abastecimiento cuando incurre en un monto igual a \$22.127.900, correspondiente al escenario 24 donde el proveedor opera con s,Q, el minorista 1 con s,S, el minorista 2 con s,S y el minorista 3 con s,Q. Los costos totales del sistema de acuerdo a los escenarios se ven en la figura 33.

**Figura 33.** Costo total relevante del sistema



Fuente: Elaboración propia

El escenario anterior descrito es el más conveniente para la cadena en lo que se refiere a costo, pero esto no significa que cada eslabón estuviera incurriendo de manera individual en el menor costo, pues en este escenario el minorista 1 debería operar con s,S, no siendo su sistema de control más económico, pero sí el que presenta faltantes iguales a cero; el minorista 2 debería operar con s,S sin ser tampoco el más económico, pero en el cual no presenta faltantes; el minorista 3 debería operar con s,Q que no es su más económico, pero tampoco presenta faltantes; y el proveedor al operar con s,Q estaría haciendo uso de su sistema de control más económico y el que menor cantidad de faltantes presenta; por lo que cualquier cambio en el sistema de control empleado por algún componente va a provocar efectos tanto en el nivel de servicio como en el costo de los minoristas, proveedor y sistema global; cambios que probablemente provocarían incremento en los costos de acuerdo al cuadro 12, y disminución en el nivel de servicio representado por aumento en la cantidad de faltantes, resultado de los faltantes de la simulación de acuerdo a la política de control y combinación en los minoristas que se encuentran en el Anexo A; los efectos producidos por cualquier cambio en estos sistemas de control respecto al nivel de servicio se puede ver para los minoristas en la figura 27, y para el proveedor en la figura 31 de acuerdo al escenario producido por la decisión tomada en algún componente, y los efectos producidos en los costos se aprecian para los minoristas, nivel de minoristas, proveedor y sistema en las figuras 26, 29, 30 y 33 respectivamente.

Esto indica que en un escenario poco colaborativo, donde cada eslabón tome sus decisiones sin analizar de manera adecuada el contexto en el que se encuentra puede repercutir tanto en su desempeño individual como en el de la cadena de abastecimiento a la que pertenece, haciéndose importante la simulación como fuente de análisis de las posibles situaciones en la que podría incurrir.

## 9 CONCLUSIONES

La cadena de abastecimiento caracterizada por la interrelación de diferentes eslabones se encuentra influenciada por las decisiones que cada uno puede tomar. Desde el punto de vista de la gestión de inventarios, la selección de los sistemas de control provoca efectos tanto en el costo como en el nivel de servicio de cada componente y de la cadena, cuyo funcionamiento depende de las condiciones de operación de cada uno de ellos, donde el sistema de control que resulta ser más beneficioso para el eslabón individual de acuerdo a los parámetros de cada componente, puede no serlo para la cadena de abastecimiento total, confirmando el supuesto planteado al inicio del desarrollo del proyecto, enfocado en que existe un efecto en los costos y nivel de servicio si la política para la gestión de inventarios cambia en uno de los integrantes, siendo no necesariamente las políticas de beneficios individuales las que producen los mejores beneficios al sistema.

Una decisión fundamentada en el mayor beneficio para un solo ente puede afectar el rendimiento del sistema global, algo que se observa en el análisis final realizado, por lo que es necesario tener en cuenta los valores que presenta el contexto de cada elemento que conforma la cadena, para que de esta manera se trabaje de tal forma que se presente el menor costo total, y más aún tratándose de un proveedor de sus propios puntos de venta, por lo que debe de existir consciencia de que muchas veces es necesario que algunos componentes sacrifiquen beneficios, en este caso los minoristas incurriendo en mayores costos, pero con la finalidad de que la cadena tenga un mejor desempeño.

La simulación realizada permite el estudio de diferentes escenarios generados a partir del uso de diferentes sistemas de control, partiendo de unos parámetros establecidos, y por medio de los cuales se puede analizar el efecto en el costo y nivel de servicio de cada uno de los eslabones y de la cadena de abastecimiento.

Aunque no se trata de un modelo de optimización se puede mediante la simulación de los diferentes escenarios establecer cuál es la configuración que mayor beneficio produce en la cadena, a partir de la identificación del efecto que genera un sistema de control de inventarios diferente, siendo el mejor escenario para el caso desarrollado desde la visión de sistema aquel en el que el minorista 1, 2, 3, y el proveedor operan con los sistemas de control  $s,S$ ,  $s,S$ ,  $s,Q$  y  $s,Q$  respectivamente, siendo el escenario que menor costo y faltantes presenta para la cadena total de los cuatro eslabones durante los 365 días simulados.

El análisis realizado a pesar que corresponde a un caso hipotético o teórico, permite conocer de forma especial que efectivamente las cadenas de abastecimiento conformadas en este caso por cuatro componentes necesitan de un análisis para interpretar los efectos en el desempeño del sistema, si se generan cambios en los sistemas de control de inventarios utilizados, de tal manera que a pesar de que el desarrollo no se realizó con datos registrados de la operación de un sistema real, permite el cumplimiento en cuanto al objetivo del análisis del efecto de estos diferentes sistemas de control, al trabajar con datos generalizados obtenidos aleatoriamente, encontrándose la importancia del desarrollo adicionalmente del análisis, en el hecho de que se alcanza una metodología mediante la cuantificación de un caso generalizado que puede ser usada por cadenas de abastecimiento con características similares de operación, en el momento que deseen conocer cómo cambiaría sus costos y niveles de servicio si existen cambios en alguno de los eslabones, y basados en las aproximaciones de la realidad tomar decisiones; por lo que para estudios futuros sería importante desarrollar esta metodología con datos reales de un conjunto de empresas, analizado con un horizonte de tiempo mayor que permita conocer los resultados aproximados a un futuro más lejano de la operación.



## REFERENCIAS

Arango, M. D., Adarme, W., & Zapata, J. A. (2013). INVENTARIOS COLABORATIVOS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS. *Dyna* , 71-80.

Ballou, R. H. (2004). *LOGÍSTICA ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO*. México: Pearson.

Betanzo Quezada, E. (01 de Abril de 2003). *Tendencias modernas de los inventarios*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Énfasis Logística México y Centroamérica: <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/3684-tendencias-modernas-los-inventarios>

Díaz, J. A., & Pérez, D. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro. *Ingeniería Industrial* , 126-132.

Ferrín Gutiérrez, A. (2007). *GESTIÓN DE STOCKS EN LA LOGÍSTICA DE ALMACENES*. Madrid: FUNDACIÓN CONFEMETAL.

Forsberg, R. (1996). Exact evaluation of( R, Q)-policies for two-level inventory systems with Poisson demand. *European Journal of Operational Research* , 130-138.

Forsberg, R. (1995). Optimization of order-up-to-S policies for two-level inventory systems with compound Poisson demand. *European Journal of Operational Research* , 143-153.

Gordon, G. (1980). *Simulación de Sistemas*. México: DIANA, S.A.

Guasch Petit, A., & Piera, M. Á. (2002). *Modelado y simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: UPC.

Gutiérrez, V., & Vidal, C. (2008). Modelos de Gestión de Inventarios en Cadenas de Abastecimiento: Revisión de la Literatura. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* , 134-149.

Lau, R., Xie, J., & Zhao, X. (2008). Effects of inventory policy on supply chain performance: A simulation study of critical decision parameters. *Computers & Industrial Engineering* , 620-633.

Mauleón Torres, M. (2006). *LOGÍSTICA Y COSTOS*. Madrid-Buenos Aires: Díaz de Santos.

Ortiz Pinilla, J. E. (2009). *Simulación y métodos estadísticos*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Piñeiro Redondo, Y. (2007). *SIMULACIÓN DE MONTE CARLO DE SISTEMAS COMPLEJOS EN RED*. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.

Portafolio.co. (16 de Septiembre de 2014). *Economía colombiana creció 4,3 por ciento en segundo trimestre de 2014*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de EL TIEMPO: <http://www.eltiempo.com/economia/indicadores/pib-de-colombia-en-segundo-trimestre-de-2014/14542016>

Seifbarghy, M., & Akbari Jokar, M. R. (2006). Cost evaluation of a two-echelon inventory system with lost sales and approximately Poisson demand. *Int. J. Production Economics* , 244-254.

Shannon, R. E. (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implementación*. México: Trillas.

Toro, H. H., Rivera, L., & Manotas, D. F. (2011). FINANCIAL RISK ASSESSMENT OF DIFFERENT INVENTORY POLICIES. *EIA* , 43-60.

Vidal Holguín, C. J., Londoño Ortega, J. C., & Contreras Rengifo, F. (2004). Aplicación de modelos de inventarios en una cadena de abastecimiento de productos de consumo masivo con una bodega y N-puntos de venta. *Ingeniería y Competitividad* , 35-52.

Vidal, C. J. (2010). *PLANEACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE ABASTECIMIENTO*. Santiago de Cali: Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle.

Wang, Q. (2013). A periodic-review inventory control policy for a two-level supply chain with multiple retailers and stochastic demand. *European Journal of Operational Research* , 53-62.

## ANEXOS

### ANEXO A. FALTANTES DE CADA ESLABÓN

Nivel de Servicio (Faltantes)																		
Minorista 1									Proveedor									
s,Q			R,S			s,S			Escenario	s,Q			R,S			s,S		
No. Días Faltantes	Cant. De Faltantes	Costo Faltantes	No. Días Faltantes	Cant. Faltantes	Costo Faltantes	No. Días Faltantes	Cant. Faltantes	Costo Faltantes		No. Días Faltantes	Cant. De Faltantes	Costo Faltantes	No. Días Faltantes	Cant. Faltantes	Costo Faltantes	No. Días Faltantes	Cant. Faltantes	Costo Faltantes
1	6	40.500	2	3	20.250	0	0	0	1	11	694	7.807.500	9	715	8.043.750	12	650	7.312.500
Minorista 2									2	10	1189	13.376.250	14	1681	18.911.250	14	1707	19.203.750
Minorista 3									3	10	374	4.207.500	6	440	4.950.000	12	1223	13.758.750
0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10	548	6.165.000	6	666	7.492.500	21	1299	14.613.750
Minorista 3									5	12	723	8.133.750	9	782	8.797.500	12	717	8.066.250
Minorista 3									6	7	521	5.861.250	11	395	4.443.750	13	1426	16.042.500
0	0	0	2	7	47.250	4	30	202.500	7	14	865	9.731.250	8	636	7.155.000	16	1507	16.953.750
Minorista 3									8	8	615	6.918.750	10	891	10.023.750	13	1233	13.871.250
Minorista 3									9	15	1161	13.061.250	13	1240	13.950.000	18	1299	14.613.750
Minorista 3									10	12	1511	16.998.750	13	1088	12.240.000	19	2505	28.181.250
Minorista 3									11	7	610	6.862.500	6	700	7.875.000	23	1600	18.000.000
Minorista 3									12	15	1838	20.677.500	17	1346	15.142.500	22	2143	24.108.750
Minorista 3									13	9	513	5.771.250	20	977	10.991.250	11	496	5.580.000
Minorista 3									14	29	2055	23.118.750	22	1446	16.267.500	23	2233	25.121.250
Minorista 3									15	28	1977	22.241.250	21	2409	27.101.250	28	3295	37.068.750
Minorista 3									16	11	899	10.113.750	26	731	8.223.750	19	950	10.687.500
Minorista 3									17	22	1552	17.460.000	17	923	10.383.750	9	1388	15.615.000
Minorista 3									18	19	1735	19.518.750	24	1640	18.450.000	19	1528	17.190.000
Minorista 3									19	8	791	8.898.750	9	466	5.242.500	11	982	11.047.500
Minorista 3									20	13	514	5.782.500	16	695	7.818.750	7	297	3.341.250
Minorista 3									21	12	666	7.492.500	9	725	8.156.250	12	1127	12.678.750
Minorista 3									22	12	517	5.816.250	9	782	8.797.500	16	1168	13.140.000
Minorista 3									23	17	1867	21.003.750	11	1197	13.466.250	18	1897	21.341.250
Minorista 3									24	7	260	2.925.000	9	639	7.188.750	13	1559	17.538.750
Minorista 3									25	15	853	9.596.250	15	805	9.056.250	18	1038	11.677.500
Minorista 3									26	27	1893	21.296.250	14	1133	12.746.250	20	1533	17.246.250
Minorista 3									27	13	610	6.862.500	9	788	8.865.000	15	1669	18.776.250

Fuente: Elaboración propia

El Anexo A muestra de acuerdo a la demanda recibida por cada eslabón el número de días en el que incurre en faltantes, la cantidad de faltantes y el costo asociado anual de acuerdo al sistema de control con el que gestiona el inventario, mostrándose en el proveedor los valores correspondientes a cada combinación en los minoristas.

## ANEXO B. ÓRDENES REALIZADAS POR CADA ESLABÓN

Órdenes Realizadas													
Minorista 1						Proveedor							
s,Q		R,S		s,S		Escenario	s,Q		R,S		s,S		
No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes		No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes	
26	1.300.000	26	1.300.000	23	1.150.000	1	15	1.800.000	14	1.680.000	13	1.560.000	
Minorista 2						2	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
s,Q		R,S		s,S		3	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes	4	14	1.680.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
19	1.330.000	19	1.330.000	17	1.190.000	5	15	1.800.000	14	1.680.000	13	1.560.000	
Minorista 3						6	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
s,Q		R,S		s,S		7	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes	No. De Órdenes	Costo Órdenes	8	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
20	800.000	19	760.000	18	720.000	9	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						10	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						11	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						12	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						13	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						14	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						15	15	1.800.000	14	1.680.000	11	1.320.000	
						16	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						17	15	1.800.000	14	1.680.000	13	1.560.000	
						18	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						19	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						20	15	1.800.000	14	1.680.000	13	1.560.000	
						21	15	1.800.000	14	1.680.000	13	1.560.000	
						22	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						23	14	1.680.000	14	1.680.000	11	1.320.000	
						24	15	1.800.000	14	1.680.000	13	1.560.000	
						25	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						26	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	
						27	15	1.800.000	14	1.680.000	12	1.440.000	

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo B se observa de acuerdo al sistema de control de inventarios utilizado por cada eslabón de la cadena de abastecimiento el número de órdenes realizadas en el año y su costo respectivo.