

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES  
PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE INVENTARIOS**

**JAIME ANDRÉS CASTRO URREGO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Magíster en Ingeniería**

**Asesor: Carlos Alberto Castro Zuluaga**

**MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
2014**

A Melisa y Douglas, fuentes inagotables de admiración y motivación en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, deseo agradecer a mi tutor, Carlos Alberto Castro Zuluaga, por su constante apoyo y paciencia en el desarrollo de todo el proyecto de investigación, con sus consejos y enseñanzas siempre ha sabido guiar mis procesos de formación como profesional.

Igualmente deseo expresar mis agradecimientos al profesor Guillermo Carmona González, quien con sus enseñanzas contribuyó sobremedida en mi formación temprana en investigación.

Así mismo, deseo agradecer a la Universidad EAFIT por posibilitar el desarrollo del proyecto de investigación que derivó en este trabajo de grado, poniendo a mi disposición todos los recursos que fueron necesarios para la ejecución del mismo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que con sus comentarios y sugerencias contribuyeron sustancialmente al desarrollo de este trabajo de grado.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
4. ESTADO DEL ARTE.....	17
4.1. SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES (DSS) .....	17
4.2. APLICACIÓN DE DSS .....	18
4.3. SISTEMAS PARA ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO.....	20
5. MARCO TEÓRICO .....	23
5.1. ARQUITECTURA DE DSS Y SISTEMAS PARA CONTROL DEL INVENTARIO .....	23
5.2. GESTIÓN DE INVENTARIOS .....	25
6. METODOLOGÍA.....	28
7. SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES PARA CONTROL Y GESTIÓN DE INVENTARIOS (IMSS).....	30
7.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	31
7.1.1. Descripción general.....	31
7.1.2. Modelo de datos.....	33
7.2. SUBSISTEMA PARA CONTROL TRANSACCIONAL (IMSS MOBILE) .....	35
7.3. SUBSISTEMA PARA CONTROL DEL INVENTARIO .....	39
7.4. SUBSISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES.....	44

7.4.1.	Herramienta para cálculo de parámetros. ....	45
7.4.2.	Herramienta de simulación del inventario. ....	49
7.4.3.	Evaluación de los resultados arrojados por el simulador .....	52
8.	PRUEBA PILOTO DEL SISTEMA PROPUESTO.....	56
8.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA PILOTO .....	56
8.2.	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA PILOTO .....	56
8.3.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	58
9.	CONCLUSIONES.....	62
10.	TRABAJOS FUTUROS .....	65
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
12.	ANEXOS .....	73
12.1.	ANEXO 1: APLICACIONES PUBLICADAS DE DSS EN OPERACIONES Y LOGÍSTICA .....	73
12.2.	ANEXO 2: FORMULACIÓN DE MODELOS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS UTILIZADOS EN EL DSS PROPUESTO .....	78
12.2.1.	Modelo de punto de reorden y cantidad fija a ordenar $(s, Q)$ .....	79
12.2.2.	Modelo de punto de reorden y cantidad a pedir máxima $(s, S)$ :.....	80
12.2.3.	Sistema de revisión periódica y cantidad a pedir máxima $(R, S)$ .....	80
12.2.4.	Cálculo del costo total relevante .....	82
12.3.	ANEXO 3: DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESO SEGUIDO PARA LA OPERACIÓN EN BODEGA CON IMSS .....	83
12.3.1.	Recepción de mercancía. ....	83
12.3.2.	Traslado de producto entre ubicaciones. ....	84
12.3.3.	Picking de pedidos.....	85

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de datos de sistemas para control de inventarios.....	24
Figura 2. Arquitectura de IMSS. ....	31
Figura 3. Diagrama entidad-relación de la base de datos de IMSS. ....	34
Figura 4. Mensajes de alerta generados por IMSS Mobile.....	36
Figura 5. Pantallas de inicio de sesión (izquierda) y menú principal (derecha) de IMSS Mobile.....	37
Figura 6. Pantallas de recepción de mercancía. ....	37
Figura 7. Pantallas de traslado de producto: toma (izquierda) y depósito (derecha) de artículos.....	38
Figura 8. Pantalla de picking de unidades.....	39
Figura 9. Página de inicio IMSS Desktop Tool .....	40
Figura 10. Pantallas que conforman IMSS Desktop Tool.....	41
Figura 11. Pantalla de consulta maestro de productos. ....	42
Figura 12. Pantalla de documentos.....	42
Figura 13. Pantalla para consulta de inventario por producto. ....	43
Figura 14. Pantalla de consulta de movimientos históricos.....	44
Figura 15. Menú principal de IMSS Decision Maker Module.....	45
Figura 16. Formulario de datos iniciales para el cálculo de parámetros de gestión de un solo artículo. ....	47
Figura 17. Formulario con parámetros calculados para un solo producto.....	47
Figura 18. Pantalla para selección de SKU's a considerar en el cálculo.....	48
Figura 19. Ingreso de información para cálculo masivo de parámetros de gestión. ....	48
Figura 20. Parámetros de gestión calculados para varios ítems.....	49

Figura 21. Ventana de simulación para el modelo de punto de reorden y cantidad fija a ordenar (s,Q). .....	50
Figura 22. Pantalla de resultados de simulación.....	51
Figura 23. Imágenes de utilización del sistema durante la prueba piloto. ....	57

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias absolutas promedio para cada modelo y regla de decisión. .	53
Tabla 2. Intervalos de confianza para diferencia porcentual absoluta entre cálculos del simulador y cálculos de los modelos matemáticos. ....	54
Tabla 3. Cantidad de unidades movidas y registros por tipo de movimiento.....	58
Tabla 4. Exactitud calculada del inventario. ....	59
Tabla 5. Analogía entre parámetros de modelos $(s,Q)$ y $(R,S)$ .....	80

## **GLOSARIO**

**DBMS (DATABASE MANAGEMENT SYSTEM):** Sistema que emplea métodos estandarizados gestionar el ingreso de datos, organizarlos y proveer métodos de acceso a ellos, de modo que otros programas o usuarios puedan extraerlos o modificarlos.

**MIS (MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS):** Sistemas integrados de hardware, software, manuales de operación, modelos de decisión y bases de datos, que buscan apoyar las funciones de operaciones, administración y toma de decisiones en una organización.

**SKU (STOCK KEEPING UNIT):** Unidad mínima de almacenamiento de un artículo, diferenciada de otras por alguna de sus características, composición, empaque o manejo.

**SQL (STRUCTURED QUERY LANGUAGE):** Lenguaje de consulta utilizado para acceder y modificar información en una base de datos.

## RESUMEN

Actualmente, la administración del inventario constituye una actividad clave en los procesos logísticos de las compañías, especialmente de países en vía de desarrollo en los que las empresas deben buscar que la inversión en activos corrientes, específicamente en inventarios, no sea tan alta que comprometa el capital de trabajo ni tan baja que afecte los ingresos por no tener disponibles productos. Existen diversos sistemas propuestos como solución para el problema del control de inventarios, diferenciándose entre sí en alcance, costos y métodos empleados. Sin embargo, de acuerdo a algunos estudios, una gran proporción de micro, pequeñas y medianas empresas todavía emplean sistemas muy básicos para gestionar sus niveles de inventario, lo cual les representa una desventaja competitiva. Este trabajo de grado presenta un sistema propuesto para apoyar la toma de decisiones en la gestión de inventarios enfocado principalmente a Mipymes, que garantice un control del inventario de materias primas y producto terminado en tiempo real, soportando para ello la ejecución de tareas operacionales en las bodegas y que adicionalmente permita la definición de los niveles de inventario, las frecuencias de pedido y las cantidades a reabastecer de acuerdo a información histórica y a los resultados arrojados por modelos matemáticos y simulación. El sistema desarrollado fue implementado en una empresa mediana del Valle de Aburrá en la que se logró un incremento en el control que se tenía sobre el flujo de mercancía.

Palabras clave: Sistema de apoyo a la toma de decisiones, DSS, gestión de inventarios, control de inventarios, simulación.

## 1. INTRODUCCIÓN

La extensión y complejidad de las cadenas de abastecimiento actuales, ha incrementado la dificultad para lograr los niveles de servicio y márgenes de rentabilidad definidos como parte de las políticas y objetivos de las compañías. Una de las principales áreas afectadas por la generación de mercados más complejos ha sido la administración de inventarios, encargada de asegurar la disponibilidad de producto para abastecer los requerimientos de demanda de manera oportuna, procurando que los niveles de existencias sean los adecuados, de tal manera que se afecte mínimamente los estados financieros de las organizaciones.

En términos generales, la administración del inventario en las compañías aborda dos problemas diferentes: el primero se refiere al control de existencias con el objetivo de conocer qué, cuántos y dónde se encuentran almacenados los productos; y el segundo corresponde a la gestión del inventario, que abarca lo relacionado con la definición de cantidades a pedir y frecuencias de revisión y de pedidos de las diferentes materias primas, insumos, artículos semi-elaborados o productos finales que se mantienen en inventario. Como parte de la solución al problema de administración de inventarios, muchas empresas han optado por implementar sistemas ERP (del inglés Enterprise Resource Planning) que permiten tener control transaccional de las existencias en el almacén a través de algunos módulos, pero que no cuentan con herramientas de soporte para realizar una adecuada parametrización del sistema para la gestión de inventarios.

La ausencia de este tipo de soluciones es evidente en pequeñas y medianas empresas de países en vía de desarrollo. Esto ha sido reportado por Gutiérrez y Rodríguez en un diagnóstico sobre gestión de inventarios realizado a empresas medianas del Valle de Aburrá [1], en el que se evidencia que la mayor proporción

de las compañías basa sus decisiones en la experiencia y en modelos de gestión basados en técnicas cualitativas.

Este proyecto de grado presenta el prototipo de un sistema de información desarrollado para el control y la gestión de inventarios de materias primas y/o productos terminados enfocado a Mipymes (micro, pequeñas y medianas empresas), el cual permite conocer las cantidades que se tiene de cada SKU (Stock Keeping Unit) en el almacén, incorporando un Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) que utiliza información histórica para definir niveles de inventario, cantidades a ordenar y frecuencias de pedido, con el fin de ajustar las políticas de niveles de servicio, costos y/o penalización de agotados de la empresa. El sistema desarrollado cuenta además con un módulo de simulación, que le permite al encargado de la toma de decisiones evaluar el impacto que podría tener la selección tres tipos de modelos de administración de inventarios, así como el efecto que puede tener la variación de niveles de inventario, suministro y/o demanda en la capacidad de abastecer los requerimientos del mercado.

El prototipo fue desarrollado en dos subsistemas independientes: uno para el control y otro para la gestión del inventario, ambos enlazados a una misma base de datos. Finalmente, con el propósito de evaluar su funcionalidad y detectar posibles errores, éste fue puesto a prueba en una PyME del Vallé de Aburrá, lo cual ha permitido evaluar la validez práctica del sistema en la industria, así como la posibilidad de utilizarlo en procesos de capacitación formal y no formal en un futuro. Los resultados de la prueba piloto, al igual que las principales conclusiones del proyecto son presentados al final de esta monografía.

## 2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con algunos estudios realizados en América Latina [2], los niveles de inventario mantenidos por los países de la región son en promedio 3 veces mayores a los mantenidos por los países que hacen parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés). Por su parte, el Índice de Desempeño Logístico (LPI) medido por el Banco Mundial, muestra que la mayor parte de los países de la región (incluida Colombia) ocupan puestos superiores al 70 en un listado de 160 naciones [3]. En Colombia el panorama no es mejor, ya que de acuerdo a estudios como los presentados en [1] y [4] el costo del inventario puede llegar a representar cerca del 25% de las ventas de las compañías. Estos indicadores reflejan por qué en los últimos años la administración de inventarios se ha convertido en un tema de mayor relevancia tanto para la industria como para la academia.

Casi de forma general, en el ámbito empresarial (manufactura y servicios) se ha optado por utilizar módulos de sistemas de información como los ERP para dar solución al problema de control del inventario. Sin embargo, de acuerdo a los resultados de algunos estudios realizados, como [5] y [6], en dichos sistemas se evidencia la ausencia de modelos y fundamentación académica para apoyar la toma de decisiones en la definición de políticas de reabastecimiento.

Es así como desde la década de los 70's se ha incrementado el diseño y desarrollo de aplicativos que apoyan la toma de decisiones con herramientas computacionales y métodos de optimización [7]. En [8], por ejemplo, se aclara que los sistemas operacionales, como los ERP, son utilizados para mantener la trazabilidad de transacciones y actividades rutinarias en las organizaciones, mientras que los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS) son empleados

para resolver problemas semi-estructurados mediante algoritmos y modelos no convencionales.

A pesar de los avances existentes en DSS, la utilización de modelos teóricos en países en vía de desarrollo para solucionar problemas empresariales (especialmente en Mipymes) es escasa. En [9] se presenta una revisión del software disponible específicamente en Colombia para la gestión de inventarios, en donde resaltan el uso de sistemas ERP, códigos de barra, identificación mediante radiofrecuencia y desarrollos propios en Microsoft Excel®. Sin embargo, el estudio reporta que son pocas las herramientas que apoyan el proceso de toma de decisiones en la gestión de inventarios (cálculo de frecuencias de revisión y ordenamiento y definición de cantidades a ordenar). Adicionalmente, la mayoría de las empresas que han implementado alguno de estos sistemas reportan problemas para evidenciar el mejoramiento y cuantificarlo. Como resultado, este estudio identifica una oportunidad para el desarrollo de paquetes que se ajusten a las necesidades de las compañías a un menor costo. Por su parte, en [1] se reporta una revisión realizada a las medianas empresas del Valle de Aburrá, en la que se concluye que la mayor proporción de las compañías basa sus decisiones en la experiencia y en modelos de gestión apoyados en técnicas cualitativas, mientras que aquellas empresas que utilizan herramientas de apoyo a la toma de decisiones desconocen los procedimientos que llevan a cabo dichas aplicaciones.

Estos estudios demuestran la necesidad latente en el mercado colombiano, especialmente entre las Mipymes, tanto de sistemas que les permitan conocer con exactitud las cantidades disponibles en inventario y su ubicación, como de herramientas que apoyen la toma de decisiones en la administración de inventarios. Estas últimas deben ayudar no sólo a determinar los parámetros de entrada de los modelos, sino también a conocer el impacto que tiene la variación de ellos sobre el desempeño de la compañía. Sin embargo, un paquete de soluciones no es suficiente por sí mismo. Éste debe ir siempre de la mano de personal profesional capacitado para interpretar y manejar la herramienta, de

modo que las pequeñas y medianas empresas puedan alcanzar sus objetivos estratégicos con un uso más racional de los recursos, el cual pueda traducirse en una ventaja competitiva para las compañías.

Por todo lo anterior, el presente trabajo de grado recopila los resultados logrados con el desarrollo del prototipo de un sistema de apoyo a la toma de decisiones, que incorpora funcionalidades tanto para el control como para la gestión del inventario. Se pretende que el sistema desarrollado sea utilizado en procesos de formación académica, así como en ambientes industriales, principalmente en Mipymes, con el propósito de generar beneficios a sus potenciales usuarios.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar el prototipo de un sistema de información para la gestión y el control de inventarios, que incluya el elemento transaccional para el control de inventarios y los elementos de soporte a la toma de decisiones para la gestión de los mismos.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y desarrollar un prototipo de la herramienta transaccional para el control de inventarios.
- Diseñar y desarrollar un prototipo de la herramienta de gestión de inventarios.
- Desarrollar la interface entre las dos herramientas.
- Realizar una prueba piloto de la herramienta para validar completamente su funcionamiento.

## 4. ESTADO DEL ARTE

### 4.1. SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES (DSS)

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS) son definidos como sistemas interactivos que buscan ayudar a los encargados de la toma de decisiones, utilizando datos y modelos para la solución de problemas con diferentes grados de estructuración [10]. De acuerdo a diversas revisiones de literatura, como las presentadas en [7], [10], [11] y [12], el término DSS fue propuesto por primera vez a inicios de la década del 70 por Gorry y Scott Morton en [13] como una alternativa a los sistemas de información gerenciales (MIS, por sus siglas en inglés) que existían.

Desde sus inicios en las décadas de los 60 y 70, los DSS han despertado gran interés en investigadores y en personal encargado de tomar decisiones en las empresas a nivel estratégico, táctico y operativo. Esto ha llevado a múltiples aplicaciones teóricas y prácticas de los conceptos propuestos por esta rama de las tecnologías de información [7].

Desde el punto de vista metodológico, distintos autores han sugerido marcos teóricos útiles para el diseño, desarrollo, implementación y clasificación de DSS. Alter, por ejemplo, presentó en 1980 [14] una taxonomía útil para catalogar los DSS en 7 categorías diferentes con base en las operaciones genéricas que llevan a cabo, variando desde DSS totalmente orientados al acceso de datos hasta aquellos orientados a modelos para la sugerencia de decisiones [7]. Sprague y Carlson, por su parte, propusieron un marco teórico en el que sugerían que los DSS deberían estar compuestos por 3 subsistemas claves para gestionar: base de datos, modelo y generación de diálogo con el usuario [15]. La taxonomía y el marco propuestos en estas dos investigaciones permanecen vigentes al día de hoy y son ampliamente referenciados en la literatura publicada sobre DSS. Así

mismo, Meador y Ness [16] plantearon una metodología de desarrollo progresivo para la construcción de DSS, según la cual estos sistemas son desarrollados a través de acciones cíclicas que involucran la participación activa del usuario [17]. Finalmente, Chen y Sinha presentaron una propuesta metodológica para el desarrollo de DSS con un enfoque de arriba hacia abajo orientado a objetos, el cual parte de los datos y modelos utilizados en las organizaciones hasta llegar a la implementación computacional [18].

En [7], [19] y [14] puede encontrarse mayor detalle sobre la evolución y las distintas técnicas y enfoques que se han propuesto en los más de 40 años de investigación en este campo.

#### **4.2. APLICACIÓN DE DSS**

En cuanto a implementaciones prácticas de DSS, en la literatura científica se reportan estudios llevados a cabo para solucionar problemas en áreas como administración de operaciones, marketing, gestión de portafolios de inversión, construcción, planeación urbana, planeación militar y cuidado de la salud [10], [20], [21], [22]. Una de las primeras implementaciones de un DSS a nivel industrial fue presentada por Scott Morton en su disertación de doctorado [23], en la cual propuso un sistema computacional para apoyar la planeación conjunta de producción entre personal de operaciones y marketing, en una compañía fabricante de lavadoras y secadoras. Morton reportó entre sus principales resultados una reducción considerable en el tiempo requerido para la planeación, así como la posibilidad de evaluar múltiples escenarios y mejorar la calidad de los resultados.

En el campo de la gestión de inventarios, múltiples investigadores han publicado resultados de aplicaciones enfocadas a la definición de cantidades a ordenar, niveles de inventario a mantener y clasificación ABC de productos. Un ejemplo de ello es el DSS propuesto por Cheng y Li [24], el cual permite calcular los tamaños de lote a ordenar con base en 3 reglas heurísticas diferentes: Silver-Meal, Groff y

el balance parte-período. Igualmente, Lahiri introduce un DSS utilizado para definir las cantidades de inventario a mantener, en varios nodos de la cadena de suministros de una compañía dedicada a la manufactura de computadores, calculando los costos logísticos en que se incurre y permitiendo al usuario evaluar el impacto de diferentes estrategias de abastecimiento [25]. Por su parte, Prasad et al. [26] desarrollaron un DSS que recomienda cuáles modelos se deben emplear para gestionar el inventario bajo condiciones específicas ingresadas en la herramienta, esto de acuerdo a una taxonomía incorporada por los autores.

Así mismo, Achabal et al. [27] presentan un DSS para la proyección de ventas y gestión de existencias en sistemas de inventario administrados por el proveedor (VMI, por sus siglas en inglés). El sistema desarrollado fue implementado por una compañía confeccionista con más de 30 de sus minoristas y permitió un incremento en el nivel de servicio y en el retorno sobre los activos corrientes del proveedor.

En [28], Cohen et al. describen varios DSS construidos con arquitecturas cliente-servidor, entre ellos, uno elaborado para implementar el modelo de punto de reorden- inventario máximo en un comercializador de productos eléctricos y electrónicos. Dicho sistema define los niveles de inventario requeridos para lograr un nivel de servicio meta y cuenta con una pestaña de simulación que permite evaluar la efectividad de la política de control definida.

Finalmente, en [29], [30] y [31] pueden encontrarse ejemplos de aplicaciones realizadas para la definición de cantidades a ordenar en la industria farmacéutica y en almacenes de repuestos de plantas de energía nuclear, mientras que Walker en el 2000 [32] y Basu y Nair en el 2014 [33] proponen el uso de DSS para solucionar el problema de dimensionamiento de lotes en productos con demanda de un solo período y de múltiples períodos, respectivamente, basándose ya sea en simulación o en modelos de programación dinámica.

En el Anexo 12.1 se proporciona un listado más amplio de publicaciones realizadas sobre aplicaciones de DSS en temas relacionados con la

administración de operaciones y logística, como son el diseño de cadenas de abastecimiento, la gestión de inventarios, la planeación de demanda y el diseño y administración de centros de distribución. Dichos sistemas han sido implementados para la solución de problemas en diversos tipos de industrias, como confección, farmacéuticos, cementos, repuestos y construcción, entre otros.

La numerosa cantidad de aplicaciones detallada anteriormente para apoyar la toma de decisiones en problemas de todo tipo, demuestra el interés y alcance con que cuenta este tipo de herramientas a nivel industrial y académico. Sin embargo, de acuerdo a los estudios llevados a cabo por Arnot y Pervan [12], [34], así como por Eom [19], es importante que los futuros desarrollos de DSS ayuden a reducir la brecha entre la teoría y la práctica, contando con mayor relevancia profesional, mejores bases teóricas y uso de tecnologías que faciliten el acceso eficiente a la información, como estructuras cliente-servidor.

#### **4.3. SISTEMAS PARA ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO**

Debido a los grandes volúmenes de información y a los altos niveles de exactitud requeridos por los procesos asociados al control de inventarios, tradicionalmente se han empleado herramientas transaccionales como WMS (Warehouse Management System) o módulos de ERP para suplir dicha necesidad. Sin embargo, diversos estudios reportan la ausencia de herramientas en dichos sistemas para apoyar la toma de decisiones. Shehab et al. [5] presentan una revisión de la literatura existente a nivel académico sobre sistemas ERP, el manejo de información en ellos, sus debilidades y oportunidades, evidenciando que existe un control general de los inventarios, pero sin incluir el uso de modelos que apoyen la toma de decisiones para los parámetros de entrada al sistema. Por su parte, Moon [6] presenta una revisión de literatura en la que se encontró que algunos sistemas ERP ofrecen soporte a la toma de decisiones en los ambientes de manufactura, marketing, contabilidad, producción y gestión estratégica; sin embargo, en la gestión del inventario aún falta por hacer uso de modelos con

fundamentos teóricos y algoritmos que permitan ayudar al usuario final de la herramienta a tomar una decisión.

En Colombia, un estudio llevado a cabo por Gutiérrez y Jaramillo [9] presenta un listado y caracterización de los software utilizados a nivel nacional para la gestión de inventarios, reportando entre sus resultados que “la mayoría de los sistemas implementados apoyan el control físico de existencias... sin embargo, pocas herramientas apoyan el proceso de toma de decisiones al respecto de la frecuencia de revisión y de ordenamiento, y de las cantidades a ordenar, tanto de los productos terminados como de las materias primas”.

Como consecuencia, desde la academia se han propuesto desarrollos y modelos que buscan cubrir la necesidad existente en el apoyo a la toma de decisiones. En [35], por ejemplo, se propone el uso de un DSS como módulo adicional para sistemas ERP, con el cual se puede simular a mediano plazo los tiempos de liberación para producción, estimando así tiempos de entrega factibles para los pedidos. Igualmente, en [36] se presenta el desarrollo de una herramienta que permite calcular puntos de reorden y cantidades fijas a pedir en los artículos manejados por una empresa comercializadora de productos agro-veterinarios e insumos hospitalarios.

Todo lo anterior permite evidenciar que en las empresas colombianas (principalmente Mipymes) existe la necesidad de contar con una herramienta que permita controlar los inventarios soportando, a su vez, el proceso de toma de decisiones. La herramienta propuesta en este trabajo de grado busca contribuir a la solución de dicho problema en micro, pequeñas y medianas empresas que cuenten con herramientas muy básicas para el control de sus inventarios; esto a través de dos características principales:

- Un subsistema que brinde la posibilidad a las Mipymes de controlar el flujo de mercancía en su bodega de forma precisa y eficiente.

- Un subsistema de apoyo a la toma de decisiones de reabastecimiento, el cual permita calcular cantidades sugeridas por varios modelos cuantitativos y evaluarlas mediante simulaciones de múltiples escenarios.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. ARQUITECTURA DE DSS Y SISTEMAS PARA CONTROL DEL INVENTARIO

De acuerdo al marco teórico propuesto por Sprague y Carlson en 1982 [15], los DSS están caracterizados por contar con 3 capacidades (subsistemas) básicas: gestión de la base de datos (DBMS, por sus siglas en inglés), gestión del modelo base (MBMS) y gestión la interfaz entre el usuario y el sistema (DGMS). El DBMS debe permitir el rápido acceso, modificación y creación de la información contenida en una base de datos que, generalmente, está separada de las bases de datos utilizadas por los sistemas operacionales de las compañías. Por su parte, el MBMS debe estar desarrollado de tal forma que puedan adicionarse o modificarse modelos siguiendo una estructura de bloques o subrutinas. Finalmente, el DGMS debe permitir el ingreso de información por parte del usuario, la presentación de resultados y el conocimiento previo del sistema y su manejo. Varias revisiones de literatura han reportado un extenso uso de modelos de representación y simulación, así como la utilización de estructuras cliente-servidor y servicios de internet en la arquitectura de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones [10], [19], [20], [21], [37].

Por su parte, los sistemas para control de inventarios son programas desarrollados con el objetivo de dar a conocer en tiempo real la ubicación de todos los SKU's disponibles al interior de una instalación. Dichos sistemas son construidos generalmente en arquitecturas cliente-servidor y manejan una parte de información fija (datos maestros) y otra información dinámica relacionada con los movimientos de mercancía y cantidades en existencia [38], [39]. Con el objetivo de mantener la integridad de los datos y evitar la redundancia en la información, los sistemas para control de inventarios fundamentan su funcionamiento en bases de



En este modelo se puede identificar en la zona sombreada la información que debe ser manejada por un sistema para control de inventarios y ésta se encuentra separada con una línea punteada de la información que es administrada por otros sistemas transaccionales en las organizaciones. De este modo, se define que un sistema para control de existencias debe tener dominio de la información concerniente a unidades de almacenamiento, cargas/contenedores (como estibas, cajas, canastas, etc.), equipos de manejo de materiales (montacargas, trilaterales, bastidores), categorías de las unidades de almacenamiento y ubicaciones del almacén. Por su parte, la información disponible sobre artículos, órdenes de compra, pedidos de clientes, mano de obra, órdenes de transporte y categorías de las ubicaciones debe ser manejada por sistemas como los ERP y consultada por el sistema para control del inventario a través de interfaces y/o conexión entre bases de datos.

El sistema de apoyo a la toma de decisiones para el control y gestión de inventarios que se propone en este trabajo de grado se desarrolló utilizando una arquitectura cliente-servidor con una base de datos estructurada a partir del modelo descrito anteriormente. La información es gestionada y almacenada en tablas maestras de Microsoft SQL Server®, a las cuales se accede a través de servicios de internet. En el capítulo 7.1 se explica con mayor detalle la estructura del DSS desarrollado.

## **5.2. GESTIÓN DE INVENTARIOS**

La gestión de inventarios se enfoca principalmente en definir políticas, modelos y parámetros para la administración de los ítems o materiales que se mantienen en inventario (SKU's), lo cual requiere de un análisis de información histórica, con el objetivo de tomar decisiones sobre éstos.

En la literatura científica existen diferentes modelos para la gestión de inventarios, algunos de ellos basados en métodos de programación matemática hechos a la medida para solucionar casos específicos de la industria, y otros modelos

generales útiles para la definición de políticas de abastecimiento en condiciones de incertidumbre. Estos últimos pueden clasificarse en modelos para pedidos únicos (aplicables a productos con ciclo de vida corto) y modelos para pedidos repetitivos, los cuales a su vez pueden dividirse en modelos de revisión continua y de revisión periódica del inventario [41].

Existen dos modelos básicos propuestos para los casos en que es importante y factible revisar continuamente el nivel de inventario de un SKU [42]:

- Modelo de punto de reorden y cantidad fija a ordenar  $(s, Q)$
- Modelo de punto de reorden y cantidad a pedir máxima  $(s, S)$

Mientras que para la revisión periódica del inventario existen dos sistemas de control generalmente utilizados:

- Sistema de revisión periódica y cantidad a pedir máxima  $(R, S)$
- Sistema de revisión periódica, punto de reorden y cantidad a pedir máxima  $(R, s, S)$

Estos sistemas buscan disminuir la probabilidad de que ocurran rupturas del inventario en casos con demanda y/o tiempos de suministro aleatorios. Para ello hacen uso de una porción de inventario denominada stock de seguridad ( $ss$ ), destinada a absorber todas las variabilidades que el sistema pueda presentar.

El cálculo del stock de seguridad, al igual que la selección del modelo de gestión de inventarios a utilizar, varía dependiendo de las políticas de la compañía, las condiciones de suministro pactadas y la prioridad del producto analizado. Sin embargo, Silver et al. [42] presentan varias reglas de decisión útiles para el cómputo del  $ss$ :

- Inventario de seguridad calculado para garantizar un tiempo mínimo de cobertura de demanda.
- Inventario de seguridad basado en la minimización de costos asociados a la penalización por unidades faltantes.

- Inventario de seguridad basado en el cumplimiento de un nivel de servicio meta en los pedidos de clientes.

En cuanto a la definición de cantidades a ordenar, existen múltiples modelos en la literatura desarrollados para el dimensionamiento de lotes, desde métodos heurísticos y reglas de cálculo [42], hasta formulaciones para la minimización de costos asociados al inventario, entendidos éstos como la suma de los costos de mantener en stock y de ordenar unidades nuevas de un ítem. Así mismo, es posible encontrar modelos propuestos para dimensionar las cantidades a ordenar bajo condiciones específicas de suministro, como abastecimiento conjunto de productos y descuentos por cantidad. En [41] y [43] pueden encontrarse formulaciones recomendadas para dichos casos.

El DSS presentado en este trabajo de grado utiliza los modelos propuestos por Silver et al. [42] para la gestión de inventarios con demanda estocástica, utilizando cuatro reglas de cálculo diferentes para la definición del inventario de seguridad y basándose en el cálculo de cantidades económicas a ordenar o a producir para el dimensionamiento de lotes. En el anexo 12.2 se presenta el detalle de la formulación empleada como base del sistema desarrollado para apoyar la toma de decisiones en la gestión de inventarios.

## 6. METODOLOGÍA

De acuerdo con la revisión llevada a cabo por Bertrand y Fransoo sobre metodologías empleadas para la investigación en administración de operaciones [44], el estudio presentado en este trabajo de grado puede clasificarse como una investigación cuantitativa axiomática; ya que busca contribuir a la solución de un problema bien conocido y documentado en la literatura, como lo es el control y gestión de inventarios, empleando varios modelos y reglas de decisión cuya implementación simultánea en un mismo sistema (integrado también al control transaccional) aún no ha sido documentada en la literatura científica, de acuerdo a lo constatado con la revisión realizada.

La investigación fue desarrollada en 4 fases principales:

1. **Caracterización del problema de toma de decisiones a resolver:** En esta fase se identificaron las variables de entrada y salida que conforman el proceso de toma de decisiones en la gestión de inventarios, así como las restricciones que hacen parte del sistema. Esto permitió definir el alcance que debería tener el DSS a desarrollar.
2. **Definición de los modelos a implementar en la solución del problema:** Para ello se revisaron los modelos que han sido referenciados en la literatura como adecuados para el control y gestión de inventarios y se seleccionaron teniendo en cuenta la factibilidad de implementación computacional y su fácil entendimiento por parte de los encargados de toma de decisiones, ya que este último factor ha sido documentado en la literatura como un elemento importante para la implementación exitosa de DSS a nivel industrial [34].
3. **Desarrollo del sistema:** Para la construcción de la herramienta se llevaron a cabo varias etapas macro:
  - I. Diseño de los subsistemas principales y sus relaciones.

- II. Selección del lenguaje de programación, teniendo en cuenta características del problema a resolver, modelos de solución y subsistemas definidos anteriormente.
- III. Construcción del modelo de datos y creación de la base de datos.
- IV. Programación del software.
- V. Validación de resultados en un ambiente controlado y definición de modificaciones requeridas.
- VI. Implementación de cambios en la herramienta.

Las etapas 5 y 6 se ejecutaron cíclicamente hasta que el DSS generara los resultados esperados para valores controlados en las variables de entrada.

4. **Validación del funcionamiento del sistema:** Con el objetivo de validar completamente la funcionalidad del sistema y la factibilidad de su utilización a nivel industrial, este fue implementado en un almacén de repuestos de una Mipyme del Valle de Aburrá. Al finalizar el período de prueba, se llevaron a cabo algunas mediciones para evaluar el uso de la herramienta y el mejoramiento logrado en el control del inventario.

De este modo, se logró desarrollar un sistema capaz de controlar el flujo de información y mercancía requerido a nivel operativo, pero que a su vez apoya (empleando modelos validados desde la teoría) el proceso de toma de decisiones a nivel táctico en la gestión de inventarios.

## 7. SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES PARA CONTROL Y GESTIÓN DE INVENTARIOS (IMSS)

Como resultado de la primera etapa de la investigación, se definió que la solución al problema de control de inventarios debería abordarse regulando las actividades relacionadas con 3 procesos clave presentes en toda bodega de materias primas y producto terminado, las cuales son: recepción de producto, traslado de artículos entre ubicaciones y despacho de mercancía. Igualmente, se definió para la gestión de inventarios el uso 3 modelos que son ampliamente referenciados en la literatura y utilizados a nivel práctico:

- Modelo de punto de reorden y cantidad fija a ordenar ( $s, Q$ )
- Modelo de punto de reorden y cantidad a pedir máxima ( $s, S$ )
- Sistema de revisión periódica y cantidad a pedir máxima ( $R, S$ )

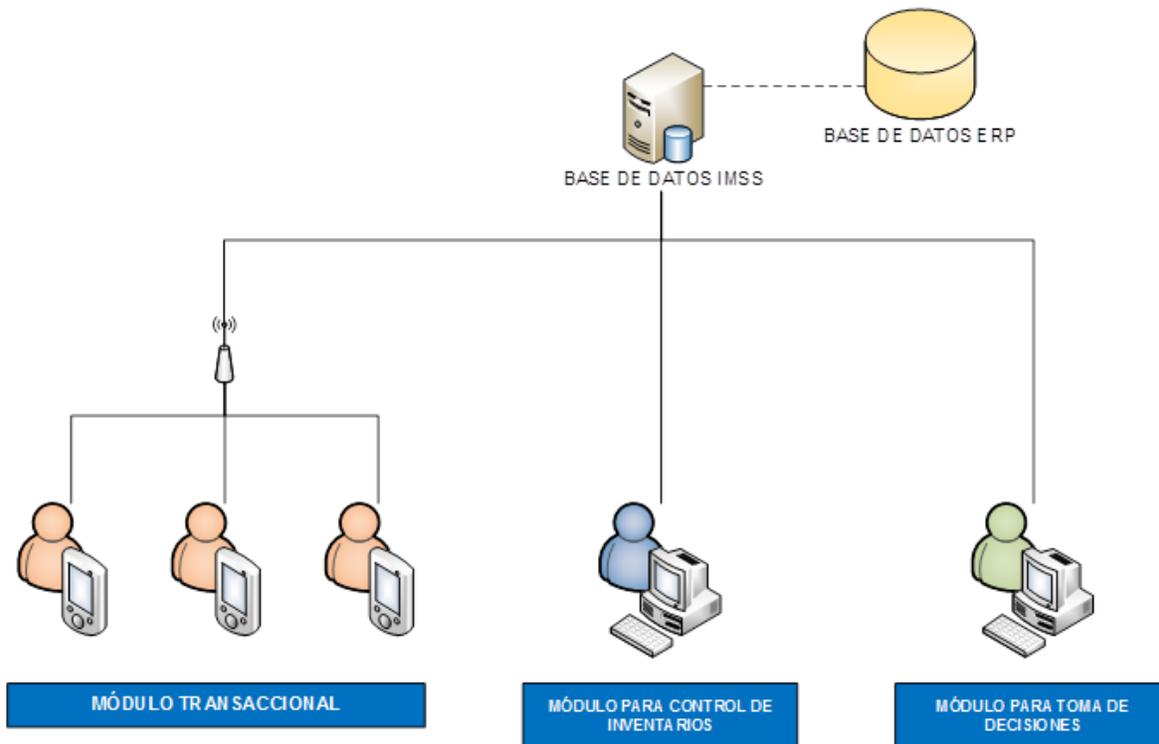
Para la validación de los modelos, análisis de sensibilidad y toma de decisiones, se definió que el sistema a desarrollar también debería permitir simular el comportamiento esperado en el inventario de los productos, al emplear cada uno de los modelos señalados anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este capítulo se presenta la estructura que compone el sistema desarrollado para control y gestión de inventarios, el cual fue denominado como Inventory Management Support System (IMSS). Así mismo, se exponen sus principales características y funcionalidades, finalmente, se describen los modelos incluidos en la herramienta para gestionar el inventario y se presenta un análisis estadístico de los resultados arrojados por dichos modelos.

## 7.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

### 7.1.1. Descripción general.

El sistema propuesto para apoyo a la toma de decisiones en control y gestión de inventarios (IMSS) está compuesto por tres subsistemas principales: uno para control transaccional de las operaciones, otro para el control del inventario y un último subsistema para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de las existencias. Todos ellos acceden a una base de datos única, la cual es administrada usando Microsoft SQL Server ® (Figura 2).



**Figura 2. Arquitectura de IMSS.**

El subsistema desarrollado para la ejecución de tareas transaccionales (IMSS Mobile) en bodegas se basa en una plataforma web, a la que se puede acceder a través de cualquier explorador de internet. Dicho módulo fue diseñado para utilizarse en terminales de radiofrecuencia que permitan la lectura de códigos de

barras, mientras que los otros dos subsistemas de la herramienta deben ser ejecutados en computadores de escritorio. Al contar con un módulo independiente al que se puede acceder mediante terminales inalámbricas, se posibilita la realización de tareas operativas en cualquier lugar de la bodega que cuente con cobertura de red. Esto permite la actualización inmediata de la base de datos a medida que la mercancía se recibe, se maneja y se despacha al interior del almacén; de este modo, la información manejada por los subsistemas para control y gestión del inventario es actualizada en tiempo real y permite la toma de decisiones basada en información precisa y reciente.

Por otro lado, la comunicación de los DSS con sistemas transaccionales existentes en las compañías es un factor de gran importancia a la hora de evaluar la viabilidad y el éxito de su implementación. Por ello, la base de datos de IMSS fundamenta su estructura en tablas relacionales y utiliza el lenguaje de consulta empleado por la mayoría de los sistemas transaccionales (como se reporta en el capítulo 5.1). Esto facilita el desarrollo de interfaces de datos y comunicación con otros sistemas a la hora de implementarlo a nivel industrial.

El subsistema para control transaccional fue desarrollado como una aplicación web mediante un lenguaje de programación de alto nivel (C#) y empleando ASP.NET para el manejo de la interfaz gráfica. De este modo se logró construir una aplicación que cuente con acceso directo a la base de datos y pueda ser ejecutada en cualquier explorador de internet, siempre y cuando esté instalado en un dispositivo con sistema operativo Windows.

Por su parte, el subsistema para control de inventarios fue construido como una aplicación de escritorio utilizando Microsoft Lightswitch ®, el cual está basado en una arquitectura de 3 capas: la primera desarrollada en Microsoft Silverlight ® para el control de la interfaz gráfica, una segunda capa encargada del acceso a los datos a través de ADO.NET Data Services y una última capa en la que se almacenan los datos empleando Microsoft SQL Server ®.

Finalmente, el módulo para gestión de inventarios fue desarrollado utilizando la interfaz de hojas de cálculo disponible en Microsoft Office Excel ® y empleando los formularios y entorno de desarrollo, disponibles en Visual Basic for Applications, para la implementación computacional de los modelos de cálculo y simulación. Con el fin de posibilitar el acceso a la base de datos central de IMSS, se emplearon adicionalmente objetos de la referencia Microsoft Activex Data Objects disponible en la librería de MS Excel ®.

### **7.1.2. Modelo de datos.**

La base de datos central de IMSS está compuesta por tablas relacionales en las que se almacena dos tipos de información: fija y dinámica. La información fija (tablas maestras) corresponde a datos requeridos para la categorización y consulta por parte de otras tablas, pero que no varían tan frecuentemente como la cantidad de unidades disponibles en una ubicación. De este modo, la información requerida para el funcionamiento de IMSS se almacena en 13 tablas diferentes, relacionadas a través de campos que cumplen la función de claves primarias. En la Figura 3 se presenta el diagrama entidad-relación de la base de datos del sistema, a partir del cual puede entenderse cómo se almacena y se accede a la información.

La lógica del sistema asigna ubicaciones a cargas y cargas a ubicaciones para controlar el inventario. De este modo, cuando los artículos ingresan al almacén son matriculados a una carga (que físicamente puede entenderse como una estiba, una caja, etc.) y dicha carga es asignada a una ubicación. Por consiguiente, una ubicación puede contener varias unidades de varias referencias, pero contiene una única carga y, del mismo modo, una carga está matriculada únicamente en una ubicación. Cuando una carga no contiene ningún artículo, ésta es eliminada en el sistema y cuando se almacena un producto en una ubicación que estaba vacía, se crea una nueva carga. Sin embargo, las cargas son únicamente un concepto manejado a nivel de base de datos, por lo que los

usuarios solamente se relacionan con códigos de ubicaciones, de productos y de documentos para la operación en la bodega.

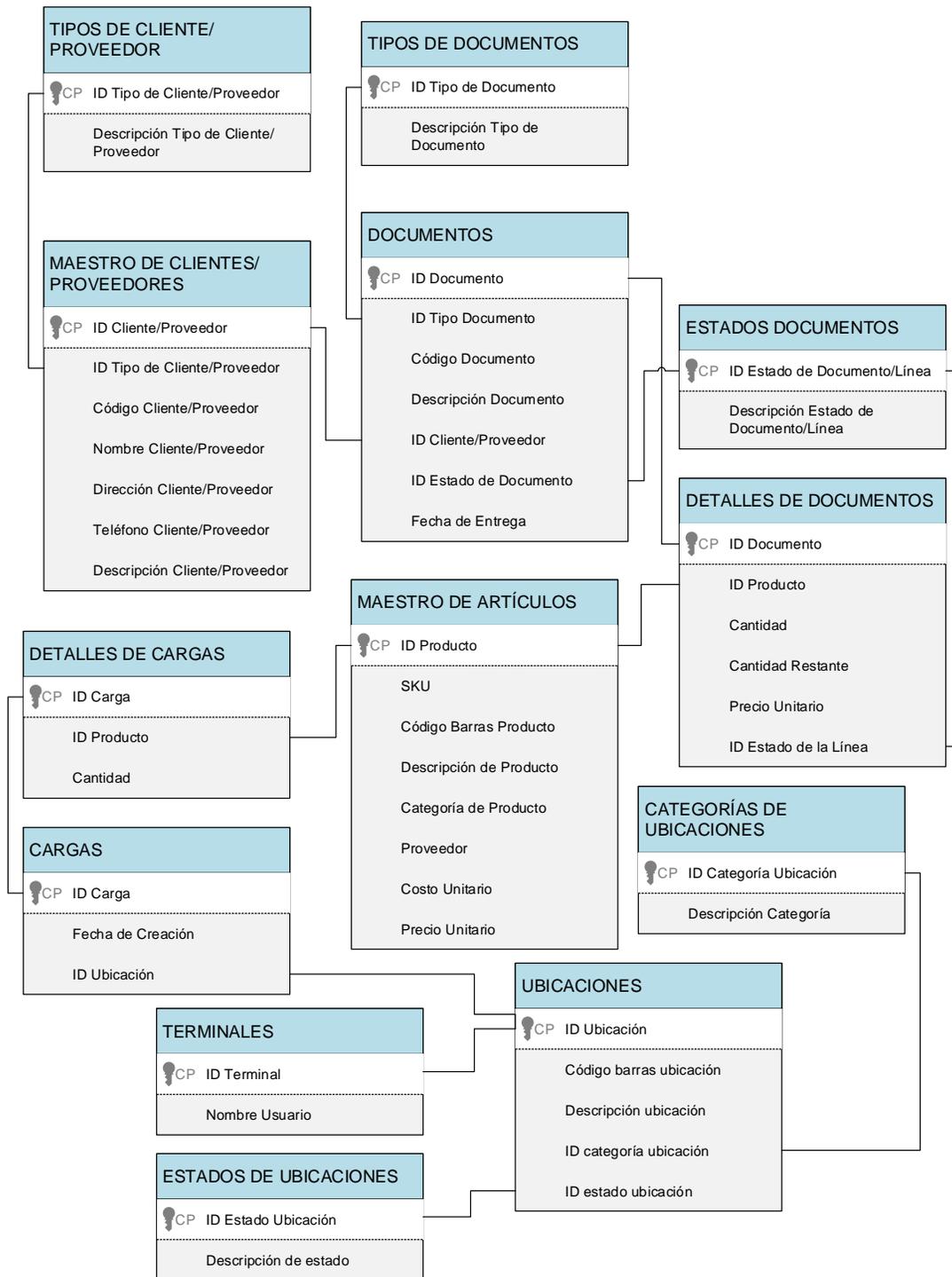


Figura 3. Diagrama entidad-relación de la base de datos de IMSS.

Por otra parte, en IMSS se mantiene también un registro de los documentos de entrada y de salida del almacén, así como de su estado: abiertos o cerrados. El sistema permite realizar recepción y despacho de entregas parciales. Para ello los documentos heredan su estado de las líneas que los componen (artículos pedidos en los detalles del documento) y cuando la totalidad de unidades pedidas de un artículo ha sido despachada o recibida, ésta adquiere el estado de cerrada. Así, sólo cuando la totalidad de unidades pedidas en un documento han sido procesadas, el documento se cierra y no puede continuarse realizando transacciones relacionadas con él.

Finalmente, con el objetivo de garantizar una completa trazabilidad de la localización de cada producto, las terminales de radiofrecuencia son entendidas por el sistema como ubicaciones adicionales en las que los usuarios pueden iniciar sesión. Así, cuando un operario toma un producto de la ubicación A para llevarlo a la ubicación B, el sistema descarga el inventario tomado de A y lo carga a la terminal, para posteriormente descargarlo de la terminal y cargar el inventario en la ubicación B. Esta lógica en la operación permite saber en todo momento dónde se encuentran los artículos, ya sea en ubicaciones de recepción, ubicaciones de almacenamiento, revisión de calidad, zona para productos defectuosos e, inclusive, bajo responsabilidad de quién se realiza dicha operación.

## **7.2. SUBSISTEMA PARA CONTROL TRANSACCIONAL (IMSS MOBILE)**

El módulo de IMSS desarrollado para ejecución de las operaciones en bodega (denominado IMSS Mobile) permite llevar a cabo tareas relacionadas con 3 actividades: recepción de mercancía, traslado de producto entre ubicaciones y despacho. El traslado de producto se divide, a su vez, en 2 tareas: recolección de producto (tomar las unidades de las ubicaciones de origen) y depósito de artículos en las ubicaciones de destino. Todas estas tareas pueden ejecutarse simultáneamente en varias terminales de radiofrecuencia empleando la lectura de códigos de barras. En el anexo 12.3 se presentan los diagramas de flujo del

proceso que deben seguir los usuarios para llevar a cabo dichas actividades con IMSS Mobile en la operación.

Con el objetivo de facilitar el uso de la herramienta, IMSS Mobile despliega en todas las ventanas una franja superior con color más claro, en la cual se dan instrucciones al usuario sobre la tarea que debe llevar a cabo en la pantalla en que se encuentre. Si la acción ejecutada no es válida, IMSS Mobile despliega un mensaje en letra roja, explicando las razones y la corrección necesaria para que la acción sea aprobada por el sistema. En la Figura 4 se presentan algunos ejemplos de este tipo de mensajes.



**Figura 4. Mensajes de alerta generados por IMSS Mobile.**

IMSS Mobile está desarrollado de modo tal que, para realizar las tareas, es necesario que el usuario inicie sesión en la terminal, de esta manera se garantiza la trazabilidad de todas las transacciones realizadas. Una vez que el usuario se registra en la terminal, es llevado al menú principal de la herramienta, desde donde se puede acceder a la interfaz de ejecución de cada tarea, dando clic o tap (en pantallas táctiles) sobre el botón correspondiente (ver Figura 5), así como cerrar sesión al dar clic sobre el botón ubicado en la parte superior derecha.



**Figura 5. Pantallas de inicio de sesión (izquierda) y menú principal (derecha) de IMSS Mobile.**

Al ingresar a la recepción de productos el usuario debe indicar primero el código del documento que va a recibir (ver Figura 6) y, si éste es válido, se despliega una ventana en la que realiza la recepción de artículos, como se ilustra en la imagen derecha de la Figura 6. En ésta ventana el usuario debe escanear el código del producto e indicar la cantidad recibida. Una vez escaneado el artículo, el sistema muestra la cantidad que falta por recibir de dicho SKU en el documento indicado anteriormente, lo que permite validar que las cantidades a ingresar concuerden con las pedidas. Si se desea recibir unidad por unidad (técnica que es utilizada frecuentemente en algunas empresas para garantizar un conteo uno a uno en la entrada), basta con activar la casilla “Escanear 1 a 1” que aparece en la parte superior de la pantalla, así el sistema únicamente solicita el código del producto, agilizando el conteo.



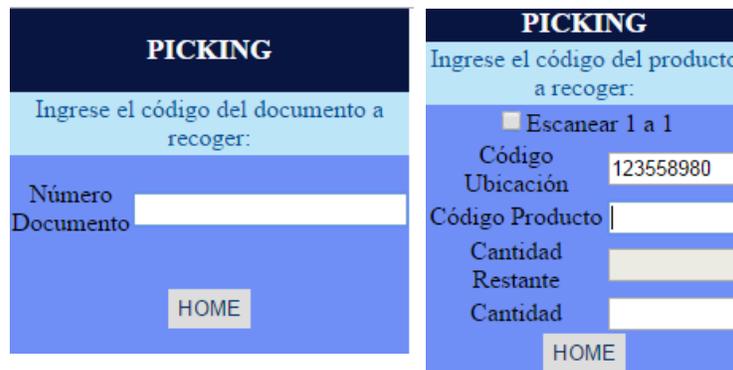
**Figura 6. Pantallas de recepción de mercancía.**

Del mismo modo, al proceder con el traslado de producto entre ubicaciones, el usuario encuentra una primera pantalla diseñada para tomar las unidades a trasladar de cada SKU (ver Figura 7), en la que se debe indicar la ubicación de la que está tomando cada producto y su respectiva cantidad. La pantalla para depósito de unidades funciona de forma similar, sólo que en ella debe indicarse la ubicación en la cual quedarán almacenados los SKU. Ambas pantallas cuentan con un botón adicional que contiene el texto “CARGA COMPLETA”, el cual indica al sistema que realice una de dos acciones: (1) tomar todas las unidades de todas las referencias que están almacenadas en la ubicación de origen o (2) depositar en la ubicación de destino todas las unidades que tiene asignadas a la terminal de radiofrecuencia como resultado de la toma de producto. Esto permite retirar o depositar todas las unidades de una ubicación sin tener que escanear todos los artículos.

TRASLADO- TOMA DE PRODUCTO	TRASLADO- DEPÓSITO DE PRODUCTO
Ingrese el código de la ubicación de la cual recogerá el producto:	Ingrese la cantidad a depositar del producto:
<input type="checkbox"/> Escanear 1 a 1	<input type="checkbox"/> Escanear 1 a 1
Código	Código
Ubicación	Ubicación Dest. 123558980
Origen	Código Producto 100025360678
Código Producto	Cantidad 50
Cantidad	
CARGA COMPLETA HOME	CARGA COMPLETA HOME

**Figura 7. Pantallas de traslado de producto: toma (izquierda) y depósito (derecha) de artículos**

Finalmente, para proceder con el despacho de productos, se ingresa a las pantallas de picking (Figura 8), en las que se debe identificar el pedido a despachar para posteriormente recoger el producto, indicando la ubicación de la que se toma, el código del SKU y la cantidad recogida. Al igual que en el proceso de recepción de mercancía, el sistema indica la cantidad restante por despachar del documento y permite el picking de unidad por unidad.



**Figura 8. Pantalla de picking de unidades**

IMSS Mobile está diseñado para ejecutar tareas de picking por pedido y considera las unidades como no disponibles una vez que han sido recogidas de las ubicaciones y asociadas a un pedido de un cliente.

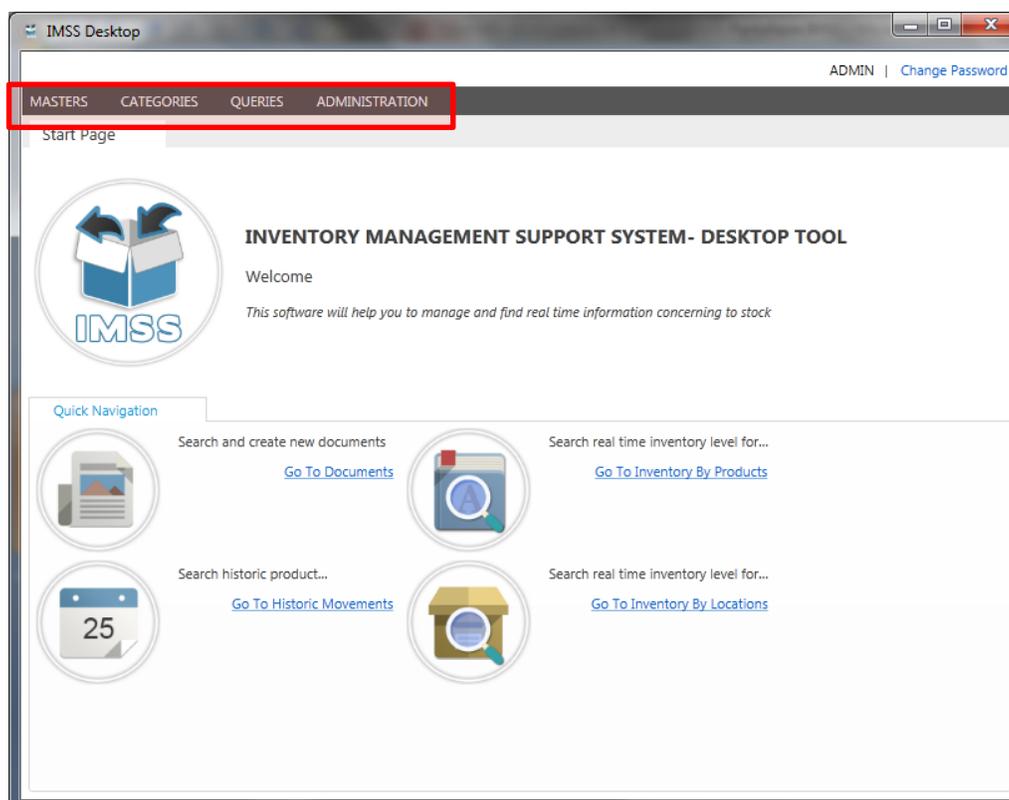
El alcance de IMSS Mobile abarca hasta el proceso de ejecución del picking, debido a que los reportes y transacciones realizadas en etapas posteriores varían frecuentemente entre Mipymes y no pueden ser estandarizadas fácilmente. Así mismo la información generada por el picking es por lo general tomada por otros sistemas (como por ejemplo el de gestión de distribución) como información de entrada. Por lo tanto, en implementaciones prácticas es necesario el desarrollo de una interfaz de datos, la cual permita la comunicación con otras aplicaciones a las que se reporte las cantidades tomadas del inventario y alistadas para despacho.

### **7.3. SUBSISTEMA PARA CONTROL DEL INVENTARIO**

El módulo para control de inventarios, denominado como IMSS Desktop Tool, fue diseñado con el objetivo de permitir al personal administrativo de las compañías conocer en tiempo real la disponibilidad de los productos y estado de los pedidos en la bodega. Esto permite saber qué órdenes están pendientes por ingresar y qué productos están agotados, lo cual es fundamental para poder tomar decisiones para gestionar la llegada de pedidos prioritarios ó montar órdenes de compra nuevas. Así mismo, se puede controlar qué actividades está ejecutando el personal operativo y direccionarlo para priorizar el despacho o recepción de

pedidos específicos. Finalmente, el sistema permite saber cuál es la disponibilidad de los diferentes SKU's y cuáles de éstos están próximos a llegar, de manera que se pueda establecer compromisos más reales en términos de tiempos y cantidades ya sea para el área de producción o el área comercial.

Al acceder a IMSS Desktop Tool, el sistema despliega una página de inicio como la ilustrada en la Figura 9. Desde ésta se puede seleccionar una de las consultas disponibles en la barra de menú principal o acceder rápidamente a 4 consultas ubicadas en la parte inferior de la pantalla: documentos, movimientos históricos, cantidad de inventario por producto y cantidad de existencias por ubicación.



**Figura 9. Página de inicio IMSS Desktop Tool**

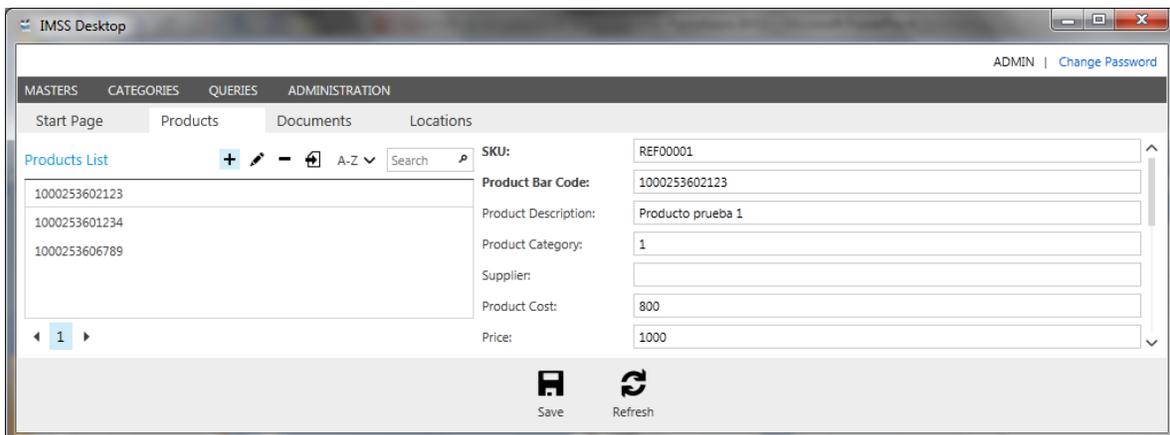
En la barra del menú principal, encerrada en rojo en la Figura 9, las pantallas de consulta se encuentran agrupadas en 4 opciones principales: maestros, categorías, consultas y administración. Al dar clic sobre cada una de ellas, se despliegan submenús con accesos a las pantallas indicadas en la Figura 10.



**Figura 10. Pantallas que conforman IMSS Desktop Tool.**

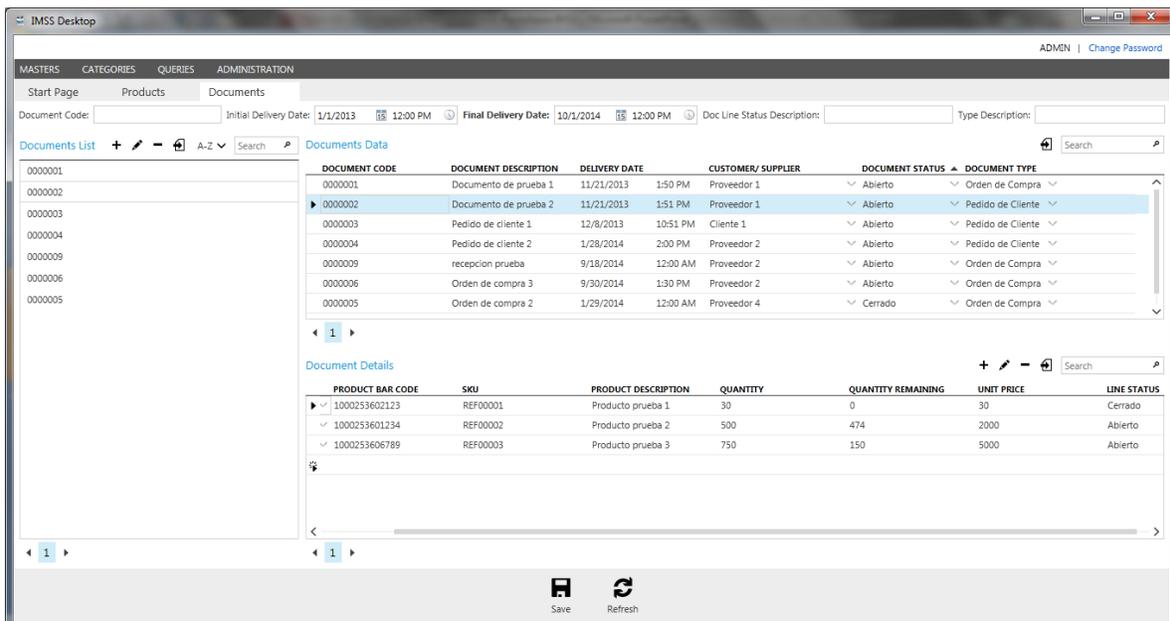
Las consultas agrupadas bajo la opción Maestros permiten acceder a pantallas en las que se despliega información básica para la operación en bodega, relacionada con pedidos, artículos, ubicaciones del almacén e identificación de clientes y proveedores. En la Figura 11 se presenta la pantalla mostrada por IMSS Desktop Tool al acceder al maestro de artículos, en la que se puede buscar y editar (dependiendo de los permisos con que cuente en el sistema) la información de cada SKU, así como adicionar nuevos productos.

Igualmente, en la pantalla de documentos el usuario puede consultar, adicionar y editar tanto los pedidos como sus detalles, filtrando por código de pedido, fecha de entrega, tipo y estado del pedido. En la Figura 12 puede observarse que, por ejemplo, el pedido de prueba 0000002 contiene unidades solicitadas de 3 SKU, de los cuales uno ya fue despachado en su totalidad. Todas las pantallas a las que se accede en IMSS Desktop Tool permiten la exportación de información a MS Excel®.



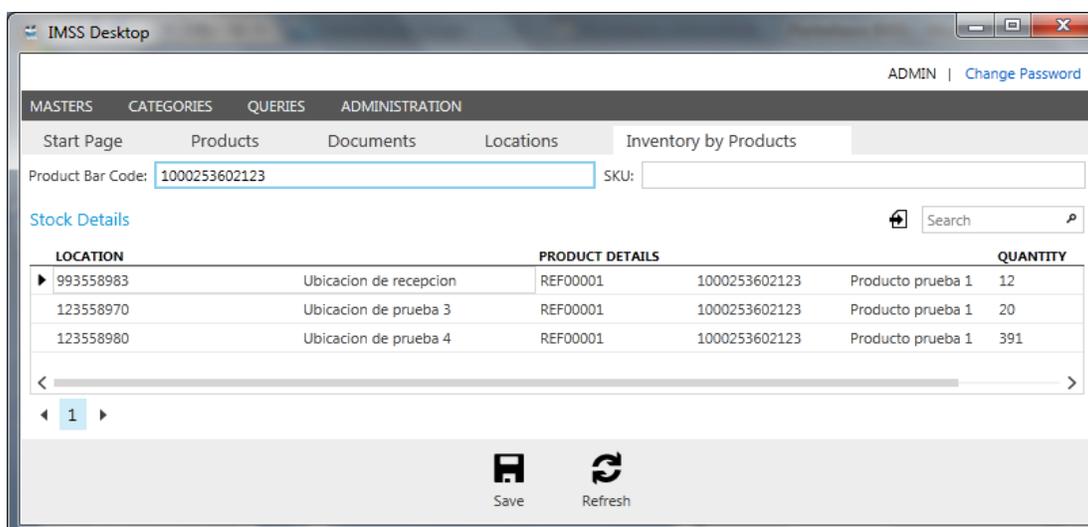
**Figura 11. Pantalla de consulta maestro de productos.**

Las pantallas agrupadas en la opción Categorías permiten modificar y adicionar información relacionada con la clasificación de documentos, ubicaciones y entidades externas. Esto hace que el sistema sea más flexible si éste se implementa en empresas que manejan diferentes canales de distribución, múltiples zonas de almacenamiento y diversos tipos de documentos de recepción y despacho (como devoluciones, transferencias, órdenes de compra, pedidos de clientes, etc.).



**Figura 12. Pantalla de documentos.**

La opción Consultas (Queries) agrupa las pantallas en las que se puede buscar información concerniente a los niveles de inventario y trazabilidad de transacciones históricas. En la Figura 13 se muestra la pantalla en la que se puede consultar la cantidad de unidades disponibles por SKU en todas las ubicaciones en que se encuentre almacenado. En la opción de movimientos históricos (Figura 14), a la que también se accede a través del menú de consultas, se pueden buscar todas las transacciones que se hayan realizado entre dos fechas, identificando el tipo de transacción, los artículos y ubicaciones afectadas, la cantidad trasladada y el responsable del movimiento. Con este último reporte se logra identificar la ocupación del personal y rastrear el manejo dado a los productos u órdenes específicas. Esta información a su vez se puede exportar a MS Excel® para medir variables como la productividad del personal.



**Figura 13. Pantalla para consulta de inventario por producto.**

Finalmente, en la opción Administración se gestiona todo lo relacionado con perfiles de usuarios, roles, niveles de acceso a la consulta y modificación de información. Este módulo permanece restringido al administrador general del sistema, ya que es él quien debe gestionar todos los permisos de acceso solicitados por los usuarios.

MOVEMENT DATE	DOCUMENT TYPE ID	DOC NUM	TERMINAL CODE	USER NAME	PRODUCT BAR CODE	LOCATION BAR CODE	QUANTITY
12/12/2013	1	0000001	0000000000012	admin	1000253601234	993558983	30
12/12/2013	1	0000001	0000000000012	admin	1000253601234	993558983	20
12/12/2013	5	0	0000000000012	admin	1000253601234	993558983	15
12/12/2013	6	0	0000000000012	admin	1000253601234	123558964	200
12/12/2013	2	0000003	0000000000012	admin	1000253602123	993558983	0
12/12/2013	2	0000003	0000000000012	admin	1000253602123	993558983	0
12/12/2013	2	0000003	0000000000012	admin	1000253602123	993558983	20
12/12/2013	1	0000001	0000000000012	admin	1000253602123	993558983	2
12/12/2013	5	0	0000000000012	admin	1000253601234	123558964	200
12/12/2013	6	0	0000000000012	admin	1000253602123	123558980	35
12/12/2013	6	0	0000000000012	admin	1000253601234	123558980	2415
12/12/2013	6	0	0000000000012	admin	1000253606789	123558980	4400
12/13/2013	1	0000001	0000000000012	admin	1000253601234	993558983	50
12/13/2013	1	0000001	0000000000012	admin	1000253601234	993558983	20
12/13/2013	1	0000001	0000000000012	admin	1000253602123	993558983	1
12/13/2013	2	0000003	0000000000012	admin	1000253602123	993558983	25
1/23/2014	1	0000001	0000000000012	usuarioprueba	1000253602123	993558983	20
1/23/2014	1	0000001	0000000000012	usuarioprueba	1000253602123	993558983	40
3/24/2014	2	0000002	0000000000012	usuarioprueba	1000253602123	123558980	30

Figura 14. Pantalla de consulta de movimientos históricos.

## 7.4. SUBSISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES

El subsistema desarrollado para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la gestión de inventarios, denominado como IMSS Decision Maker Module, funciona mediante la interfaz de hojas de cálculo provista por MS Excel ® y accede directamente a la base de datos de IMSS. Esto permite tomar decisiones con base en información actualizada en tiempo real, empleando para ello un ambiente gráfico que es manejado comúnmente a nivel empresarial.

IMSS Decision Maker Module cuenta con dos funcionalidades principales: cálculo de los parámetros sugeridos para gestionar el inventario y simulación del stock, para lo cual se apoya en información histórica tomada de la base de datos central. En las siguientes secciones se explica en detalle cada una de estas funcionalidades, así como los modelos de cálculo y simulación considerados y un análisis estadístico del ajuste entre ellos.

#### 7.4.1. Herramienta para cálculo de parámetros.

El módulo de apoyo a la toma de decisiones permite realizar 3 procesos: cálculo de los parámetros para gestión del inventario de un SKU en particular (calcular 1 a 1), cálculo de parámetros para varios ítems (calcular masivo) y simulación del comportamiento del inventario de un artículo (módulo de simulación). La Figura 15 muestra la pantalla de inicio de IMSS Decision Maker Module.



Figura 15. Menú principal de IMSS Decision Maker Module.

Como se enunció en el capítulo 7, los parámetros para gestionar inventarios son calculados en el sistema propuesto teniendo en cuenta 3 modelos de control referenciados en la literatura:

- Modelo de punto de reorden y cantidad fija a ordenar ( $s, Q$ )
- Modelo de punto de reorden y cantidad a pedir máxima ( $s, S$ )
- Sistema de revisión periódica y cantidad a pedir máxima ( $R, S$ )

Para el cálculo del stock de seguridad ( $ss$ ) IMSS Decision Maker Module considera 4 reglas de decisión diferentes, dos de ellas orientadas a la minimización de los costos de mantenimiento y penalización en que se puede incurrir por agotados y otras dos que se centran en el logro de un nivel de servicio específico. El usuario debe emplear la regla que mejor se adecúe a la estrategia competitiva de la empresa y a las políticas de inventario definidas, para lo cual se

debe ingresar una de los siguientes variables para calcular los parámetros de gestión:

- Costo específico por ocasión de agotados ( $B_1$ ).
- Costo por unidad agotada ( $B_2$ ).
- Probabilidad de no presentar faltantes por ciclo de abastecimiento ( $P_1$ ).
- Porcentaje de demanda a ser satisfecha directamente desde el inventario ( $P_2$ ).

La formulación de los modelos de cálculo empleados en cada caso son detallados en el anexo 12.2.

Para el cálculo de los parámetros de gestión para un artículo en particular, el sistema despliega un formulario en el que se debe ingresar la información de entrada requerida para el cálculo del tamaño de lote, punto de reorden, stock de seguridad y/o nivel de inventario máximo (ver Figura 16). IMSS Decision Maker Module automáticamente extrae de la base de datos central la información relacionada con la demanda histórica y costo unitario del producto. La información relacionada con el tiempo de entrega, costo por orden generada, fracción del costo por mantener, costos de penalización de agotados y niveles de servicio meta debe ser ingresada por el usuario y definida como parte de las políticas de suministro en las compañías. A partir de la información ingresada, el sistema permite dimensionar el tamaño de los lotes, por medio del cálculo de la cantidad económica a ordenar (EOQ, por sus siglas en inglés) ó la cantidad económica a producir (EPQ), la utilización de uno u otro modelo depende del tipo de suministro del SKU: si es comprado o es producido.

**Figura 16. Formulario de datos iniciales para el cálculo de parámetros de gestión de un solo artículo.**

Una vez se haya ingresado toda la información necesaria y se haya seleccionado el modelo de control y el método de cálculo a emplear, se puede proceder a calcular los parámetros del modelo. En la Figura 17 se puede observar el resultado de los parámetros calculados por IMSS Decision Maker Module para la gestión del inventario del producto mostrado en la Figura 16, para la política de punto de reorden y cantidad fija a ordenar.

**Figura 17. Formulario con parámetros calculados para un solo producto.**

Al emplear la opción de cálculo masivo, el sistema permite calcular los parámetros referenciados anteriormente para los SKU que se desee. De esta forma se posibilita la definición de las cantidades a mantener en inventario, frecuencias de revisión y cantidades a ordenar para varios artículos a partir de una clasificación ABC.

Para seleccionar los SKU para los que se desea calcular los parámetros de gestión de inventarios, se debe dar clic sobre el botón “Lista de productos” del menú principal (ilustrado en la Figura 15). El sistema despliega una pantalla como la presentada en la Figura 18, en la que el usuario debe identificar con un valor de uno (1) todos los ítems que desee considerar en el análisis.

CÓDIGO DE BARRAS	SKU	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA	DEFINIR PARÁMETROS DE INVENTARIO? (1=SI/ 0=NO)
1000253601234	REF00002	Producto prueba 2	1	1
1000253602123	REF00001	Producto prueba 1	1	0
1000253606789	REF00003	Producto prueba 3	1	1



**Figura 18. Pantalla para selección de SKU's a considerar en el cálculo.**

Una vez se hayan seleccionado los artículos, se debe volver al menú principal y ejecutar la función Calcular masivo, la cual presentará una pantalla similar a la observada en la Figura 19. En ella el sistema reporta automáticamente la información consultada en la base de datos central sobre demanda histórica, desviación de la demanda y costo unitario para todos los SKU. El usuario debe ingresar la información relacionada con el tiempo de entrega, costo por orden generada, fracción del costo por mantener, costos de penalización de agotados y niveles de servicio meta, como se ilustra en la Figura 19.

PARÁMETROS GESTIÓN DE INVENTARIO VARIOS PRODUCTOS					
 					
CÓDIGO PRODUCTO	0.3	600	2000	8	
	FRACCIÓN DEL COSTO POR MANTENER	COSTO POR ORDEN GENERADA	COSTO POR OCASIÓN DE AGOTADOS	FRACCIÓN DEL COSTO POR UNIDAD AGOTADA	TIEMPO DE ENTREGA (DÍAS)
1000253601234	0.30	850.00	1,500.00		8.00
1000253602123	0.25	350.00		0.40	8.00
1000253606789	0.30	600.00	3,000.00		8.00

**Figura 19. Ingreso de información para cálculo masivo de parámetros de gestión.**

Cuando se ha diligenciado toda la información requerida para todos los SKU's, se debe dar clic sobre el botón "Calcular Parámetros" ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla. En la Figura 20 se presenta un ejemplo de la parametrización sugerida por IMSS Decision Maker Module para controlar el inventario de 3 ítems diferentes utilizando un sistema de revisión periódica y cantidad a ordenar máxima.

The screenshot shows a software interface titled "PARÁMETROS GESTIÓN DE INVENTARIO" for "VARIOS PRODUCTOS". It features three navigation buttons: "MENÚ PRINCIPAL", "CALCULAR PARÁMETROS", and "MÓDULO DE SIMULACIÓN". Below these is a table with the following data:

CÓDIGO PRODUCTO	DEMANDA ANUAL	DEMANDA DIARIA	DESVIACIÓN DEMANDA DIARIA	COSTO UNITARIO	PERIODO DE REVISIÓN (DIAS)	STOCK DE SEGURIDAD	INVENTARIO MÁXIMO
1000253601234	16,500.00	45	18.00	1,500.00	7	52	730
1000253602123	8,750.00	24	5.00	800.00	3	42	306
1000253606789	3,200.00	9	2.00	2,500.00	15	14	215

Figura 20. Parámetros de gestión calculados para varios ítems.

#### 7.4.2. Herramienta de simulación del inventario.

Una vez definidos los parámetros de gestión para un producto en específico, ya sea a través del formulario para cálculo 1 a 1 o mediante la ventana de cálculo masivo, el usuario puede proceder a simular el comportamiento esperado en el tiempo para el nivel de inventario. Para ello se puede acceder al módulo de simulación desde el menú principal de IMSS Decision Maker Module (ver Figura 15) ó desde la pantalla de cálculo masivo de parámetros; en este último caso se debe seleccionar el producto cuyo comportamiento se desea simular (dando clic sobre el código de producto correspondiente) y accionar el botón "Módulo de simulación" disponible en la parte superior izquierda de la pantalla, como se observa en la Figura 20.

Al acceder a la ventana de simulación, el sistema carga automáticamente la información relacionada con la demanda histórica, el costo unitario del producto, la cantidad total disponible actualmente en inventario y la información empleada previamente para el cálculo de los parámetros de gestión. Esto permite evaluar,

con base en información real, la efectividad del modelo de gestión de inventarios que se haya seleccionado.

IMSS Decision Maker Module emplea simulación de Monte Carlo, considerando la demanda como una variable aleatoria distribuida normalmente para calcular los niveles de inventario disponible durante un horizonte de simulación parametrizable (ver Figura 21). Se utilizó este tipo de distribución aleatoria debido a la generalidad de casos en que ésta puede ser considerada teniendo en cuenta el teorema central del límite.



Figura 21. Ventana de simulación para el modelo de punto de reorden y cantidad fija a ordenar ( $s,Q$ ).

Con base en los resultados obtenidos, el sistema computa los valores esperados para las siguientes medidas de desempeño:

- Probabilidad de no presentar faltantes por ciclo de abastecimiento
- Fracción de demanda satisfecha desde el estante

- Fracción de tiempo sin faltantes
- Costo total de compra
- Costo total de ordenar
- Costo total de mantener
- Costo total por penalización de agotados
- Costo total relevante

Con el objetivo de entregar resultados que sean estadísticamente significativos, el sistema simula el comportamiento del inventario iterativamente, hasta alcanzar un tamaño de muestra acorde a la variabilidad de la simulación y al nivel de confianza deseado. De este modo, el usuario puede desplazarse a la pantalla de resultados luego de ejecutar el simulador (Figura 22). En ella encontrará, para cada una de las medidas de desempeño indicadas anteriormente, los resultados obtenidos con cada iteración y una comparación entre los valores esperados calculados con la simulación y los valores esperados calculados por el modelo de gestión de inventarios de acuerdo a la formulación propuesta por Silver et al. [42] que se documenta en el anexo 12.2.



Figura 22. Pantalla de resultados de simulación.

En la Figura 22 se presentan los resultados arrojados por el sistema para el mismo artículo simulado en la Figura 21. En ella puede observarse la proximidad entre los valores esperados calculados con los modelos teóricos y los obtenidos por simulación.

Finalmente, es importante señalar que con el uso de la herramienta de simulación es posible evaluar diferentes alternativas en la toma de decisiones hacia escenarios más previsibles, lo que permite evaluar qué tan robusta y óptima es la estrategia seleccionada para gestionar el inventario [37]. El simulador brinda la posibilidad a los encargados de la toma de decisiones, de evaluar el impacto que tiene la variación de parámetros como el tiempo de entrega o la demanda sobre la disponibilidad de su producto y definir políticas para adaptarse rápidamente a dichos cambios.

#### **7.4.3. Evaluación de los resultados arrojados por el simulador**

Con el objetivo de evaluar la adherencia entre los resultados arrojados por el simulador y los valores sugeridos por los modelos de gestión de inventarios, se procedió a medir la diferencia entre los valores esperados calculados por los modelos teóricos y los generados mediante simulación. Para ello se llevó a cabo una serie de ejecuciones del simulador que permitieran obtener una cantidad estadísticamente significativa de mediciones, las cuales pudieran ser analizadas para llegar a conclusiones representativas.

El modelo de simulación fue ejecutado para cada una de las 3 políticas de gestión de inventarios incluidas en IMSS Decision Maker Module, empleando para cada una los parámetros sugeridos a partir del costo por ocasión de agotados ( $B1$ ) y a partir del costo por unidad agotada ( $B2$ ). A continuación se listan los parámetros de simulación considerados para las corridas (estos valores corresponden a ejercicios teóricos para los cuales se conocía previamente los costos y niveles de servicio esperados por formulaciones matemáticas):

- Promedio de demanda diaria: 82

- Desviación de la demanda diaria: 12
- Inventario inicial: 550
- Horizonte de simulación: 365 días
- Costo unitario del producto: 800
- Costo por ocasión de agotados ( $B1$ ): 2000
- Fracción del costo por unidad agotada ( $B2$ ): 0.4
- Tiempo de entrega: 7
- Período de revisión (para el modelo  $R,S$ ): 7

Para cada ejecución del modelo de simulación, se midieron las diferencias porcentuales absolutas de los valores arrojados por el simulador respecto a los valores calculados por el modelo de gestión de inventarios para los siguientes indicadores de nivel de servicio y costo:

- Probabilidad de no presentar faltantes por ciclo de abastecimiento ( $P1$ )
- Fracción de demanda satisfecha desde el estante ( $P2$ )
- Costo de compra
- Costo de ordenar
- Costo de mantener
- Costo de faltantes
- Costo total

**Tabla 1. Diferencias absolutas promedio para cada modelo y regla de decisión.**

INDICADOR	MODELO (R,S)		MODELO (s,Q)		MODELO (s,S)	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2
P1	0.24%	1.23%	2.12%	1.47%	0.84%	0.77%
P2	1.88%	0.06%	0.06%	0.05%	1.89%	0.08%
Costo de compra (\$)	4.75%	4.88%	5.58%	5.64%	3.47%	3.61%
Costo de ordenar (\$)	1.64%	1.64%	3.52%	3.50%	7.74%	7.66%
Costo de mantener (\$)	5.87%	8.51%	2.98%	2.87%	2.55%	6.23%
Costo de faltantes (\$)	14.32%	162.08%	29.76%	78.82%	37.93%	302.56%
Costo total (\$)	4.75%	4.91%	5.53%	5.60%	3.46%	3.63%

En total se recolectaron 12.901 mediciones, mediante 1.843 simulaciones realizadas para cada uno de los 7 indicadores señalados. Este tamaño de muestra, de acuerdo a la desviación y el promedio del total de diferencias medidas (presentados en la Tabla 2), es suficiente para realizar inferencias poblacionales con un nivel de confianza del 95%.

En la Tabla 1 se presentan los promedios de las diferencias porcentuales absolutas medidas para los indicadores de nivel de servicio y costo en las simulaciones de los 3 modelos de gestión de inventarios, parametrizando cada uno a partir del costo por ocasión de agotados y del costo por unidad agotada. Los resultados obtenidos permiten observar que, en general, existe un buen ajuste entre los cálculos estimados por los modelos matemáticos y los valores encontrados mediante simulación; sin embargo, en la estimación del costo de penalización por faltantes, los resultados arrojados por el simulador y los considerados teóricamente se acercan menos, especialmente cuando la parametrización del modelo de gestión se realiza a partir del costo por unidad agotada.

**Tabla 2. Intervalos de confianza para diferencia porcentual absoluta entre cálculos del simulador y cálculos de los modelos matemáticos.**

INDICADOR	MUESTRA	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	INTERVALO DE CONFIANZA	
				LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
CONSOLIDADO P1 Y P2	3,686	0.90%	0.82%	0.88%	0.92%
CONSOLIDADO COSTOS	9,215	21.28%	60.37%	20.25%	22.32%
CONSOLIDADO COSTOS (SIN COSTO DE FALTANTES)	5,529	4.41%	1.94%	4.36%	4.45%
CONSOLIDADO (SIN COSTO DE FALTANTES)	9,215	3.00%	2.34%	2.96%	3.04%
TOTAL DE LA MUESTRA	12,901	15.46%	51.85%	14.71%	16.21%

Así mismo, en la Tabla 2 se presentan los intervalos de confianza estimados para el promedio de las diferencias porcentuales absolutas con un nivel de significancia del 95%. En ella puede observarse, nuevamente, que el costo de faltantes genera

un incremento en la diferencia entre las estimaciones obtenidas mediante simulación y las calculadas teóricamente. Teniendo en cuenta el total de la muestra, se puede afirmar que los resultados encontrados por el simulador se distancian en promedio entre un 14.71% y un 16.21% de aquellos encontrados por los modelos matemáticos. Si no se consideran las diferencias en el costo de faltantes, dicho promedio se reduce a un valor entre 2.96% y 3.04%.

Se presume que las diferencias encontradas entre los valores calculados y los simulados en el costo de faltantes pueden deberse, en el caso de la penalización por ocasión de agotados, a la acidez del indicador de nivel de servicio, ya que sin importar la cantidad agotada en la simulación, si ésta es por lo menos de una unidad, se penaliza el ciclo completo con un costo fijo, mientras que el valor estimado teóricamente penaliza fracciones de ciclos con faltantes.

Finalmente, se encontró que las diferencias obtenidas para los costos de faltantes son influenciadas por la parametrización inicial que se haga de la simulación, especialmente en cuanto a inventario disponible al inicio del horizonte, tamaño del lote a ordenar y desviación de la demanda. Los análisis orientados a evaluar la sensibilidad del modelo de simulación ante cambios en dichos parámetros no hacen parte del alcance del estudio reportado en este trabajo y representan una oportunidad para futuras investigaciones.

## **8. PRUEBA PILOTO DEL SISTEMA PROPUESTO**

Con el objetivo de validar en un ambiente real el funcionamiento y aplicabilidad del sistema desarrollado y al mismo tiempo evaluar las mejoras requeridas con miras a implementaciones industriales, se llevó a cabo una prueba piloto en una Mipyme del Valle de Aburrá. En las siguientes secciones se presentan las características de la compañía piloto, una descripción de la implementación realizada y los resultados obtenidos.

### **8.1. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA PILOTO**

La implementación se realizó en el almacén de repuestos de una empresa mediana dedicada a la prestación de servicios de montacargas, con una facturación anual cercana a los dos mil millones de pesos y una capacidad instalada de 72 vehículos.

Antes de la implementación, la compañía no contaba con codificación de los productos ni de las ubicaciones que hacían parte del almacén de repuestos, por lo cual no se tenía control de la mercancía almacenada allí. Así mismo, la gerencia general había expresado su deseo de comenzar a regular el flujo de dichos artículos como parte de un proyecto de identificación y control de costos y gastos.

Al no contar con ningún sistema para control de inventarios, la implementación de IMSS representó una buena oportunidad para mejorar la trazabilidad de los SKU's y comenzar a estandarizar los procesos relacionados con pedido, recepción y consumo de repuestos.

### **8.2. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA PILOTO**

Debido a las condiciones iniciales de la compañía fue necesario proceder con una etapa previa a la implementación, orientada a definir una nomenclatura adecuada

y codificar todos los productos y ubicaciones que hacían parte de la bodega de repuestos. Esta bodega contaba con un área de aproximadamente 10m<sup>2</sup> en la cual se disponía de 5 módulos de estantería liviana (cada uno con 6 entrepaños) y 3 racks de bins plásticos para almacenamiento de piezas pequeñas. En total se contaba con 58 ubicaciones y cerca de 620 SKU's que fueron identificados empleando códigos de barras con simbología CODE 128, ya que este estándar de codificación permite el uso de caracteres alfanuméricos en un espacio más compacto.

Una vez se tenían identificados todos los ítems y localizaciones, se procedió a instalar el sistema en un servidor al que se tuviera acceso a través de la red inalámbrica de la empresa. El almacén de repuestos era manejado por un solo operario, así que bastó con una terminal de radiofrecuencia para realizar todos los procesos relacionados con recepción, traslado y despacho de mercancía. En la Figura 23 se pueden observar algunas imágenes de la bodega y la operación del sistema por parte del operario encargado, en ellas se aprecia la codificación de las ubicaciones y la utilización de catálogos con los códigos de barras de los productos.



Figura 23. Imágenes de utilización del sistema durante la prueba piloto.

La prueba piloto se llevó a cabo durante un mes de operación, en el cual se realizaron movimientos de recepción, traslado y despacho de repuestos requeridos para el mantenimiento de montacargas. Así mismo, se utilizaron las funcionalidades disponibles en IMSS Desktop Tool para la creación de artículos nuevos, gestión de órdenes de compra y de salida, gestión de ubicaciones y consulta de existencias en inventario.

Una vez finalizado el período de prueba, se consultaron los registros de las transacciones efectuadas y se procedió a realizar un conteo físico del inventario, esto con el objetivo de evaluar la frecuencia de uso de la herramienta y la exactitud lograda entre la cantidad de existencias reportada por el sistema y la mantenida físicamente.

### 8.3. RESULTADOS OBTENIDOS

Al consultar las transacciones históricas que se realizaron empleando las funcionalidades de IMSS Mobile, se encontró que durante la prueba piloto se recibieron cerca de 2.690 unidades a través de 184 registros y, a su vez, se despacharon aproximadamente 1.300 unidades distribuidas en 223 registros, como se observa en la Tabla 3. En total, se movieron casi 10.170 unidades, representadas en 793 transacciones realizadas utilizando la terminal de radiofrecuencia. Estos resultados evidencian un alto uso de la herramienta, considerando que fue operada por un solo operario durante un mes y que el inventario de repuestos era mantenido en un almacén relativamente pequeño.

**Tabla 3. Cantidad de unidades movidas y registros por tipo de movimiento.**

ID TIPO MOVIMIENTO	UNIDADES MOVIDAS	CANTIDAD DE REGISTROS	% DE REGISTROS
Entrada por Orden de Compra	2,687	184	23%
Salida por Orden de Mantenimiento	1,313	223	28%
Toma de producto	3,084	191	24%
Depósito de producto	3,084	195	25%
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>10,168</b>	<b>793</b>	

Por otro lado, al realizar el conteo físico del stock, se encontró que las cantidades reportadas por IMSS tenían una exactitud del 85% en unidades y del 80% en combinaciones de ubicación-artículo contadas (cantidad de registros en la hoja de conteo), como se ilustra en la Tabla 4. De acuerdo a lo reportado por el personal de la compañía, dicha medición se vio afectada en gran proporción por una falta de control que hubo en el acceso al almacén durante algunos días, lo que permitió que operarios encargados de realizar el mantenimiento de los montacargas ingresaran y tomaran productos sin registrarlo en el sistema. Como medida correctiva, la dirección de operaciones restringió el acceso y manejo de los repuestos a un único operario, el cual debería continuar empleando IMSS para el registro de las transacciones.

Pese a que la medición representa todavía un nivel de exactitud bajo y que el indicador fue afectado por errores en el acceso al almacén, se debe considerar que dicho conteo fue el primero realizado en la compañía, por lo que la implementación de IMSS significó pasar de no saber qué se tenía en inventario a tener un conocimiento más aproximado sobre las cantidades almacenadas y su ubicación. De acuerdo a información suministrada por la empresa piloto, el nivel de exactitud mejoró considerablemente luego de la medición, gracias a las medidas correctivas implementadas y al mantenimiento de la disciplina en el uso del sistema.

**Tabla 4. Exactitud calculada del inventario.**

Total diferencias absolutas	764
Total unidades en sistema	5,091
Total unidades físicas	4,647
<b>EXACTITUD EN UNIDADES</b>	<b>85%</b>
Cantidad conteos sin diferencias	403
Cantidad total de conteos	503
<b>EXACTITUD EN CONTEOS</b>	<b>80%</b>

Por otra parte, con la realización de la prueba piloto se pudieron identificar los siguientes aspectos relevantes a tener en cuenta en futuras implementaciones del sistema:

- La claridad en la explicación y la facilidad en el uso de la herramienta son factores fundamentales para el éxito de la implementación. Los usuarios directos de IMSS son personas con diferentes niveles de formación, para los cuales la facilidad en las acciones y en los accesos a los módulos son de gran importancia.
- La creación de un diccionario del sistema es importante a la hora de realizar las implementaciones, ya que los términos utilizados por defecto en la herramienta no son empleados de la misma forma en todas las compañías.
- Contar con un software para generación de códigos de barras e impresora láser es vital para garantizar la continuidad operativa del sistema.
- En la implementación de este tipo de aplicaciones, se debe involucrar a todo el personal relacionado con el abastecimiento de productos, ya que áreas como comercial, compras, dirección de operaciones e incluso informática desempeñan roles fundamentales en la creación y actualización de artículos, montaje de órdenes de compra y gestión de los pedidos.

Igualmente, con la realización de la prueba piloto se pudo detectar varias características que ayudarían a ampliar las funcionalidades del sistema en una versión posterior:

- Reservación de unidades en el inventario para comprometerlas a un despacho posterior del pedido de un cliente.
- Cuando el operario escanee el código del producto en el picking, el sistema podría informarle en qué ubicación se encuentra disponible éste para recogerlo.
- Al ingresar el código del documento en el picking, el sistema podría sugerir al operario los artículos que debe ir recogiendo de modo que la distancia recorrida sea mínima.

- Ayudar al operario en el traslado de producto entre ubicaciones, indicándole en qué localizaciones debería ubicar el producto recogido para consolidar inventario u ocupar ubicaciones que estén vacías.

Finalmente, se evidenció que para una implementación adecuada de IMSS Decision Maker Module en la gestión del inventario, es necesario contar con información histórica confiable y conocimiento completo de la estructura de costos de la compañía. Por ello, en el caso de Mipymes que no cuentan con ningún sistema de información, es recomendable implementar inicialmente los módulos de IMSS Mobile e IMSS Desktop Tool y, una vez se tenga claridad de la información del inventario, comenzar a utilizar el módulo de apoyo a la toma de decisiones para definir cantidades a ordenar y a mantener en stock acordes a las necesidades de la compañía.

## 9. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo el desarrollo de un sistema integrado de apoyo a la toma de decisiones, compuesto por tres módulos capaces de soportar la ejecución de las tareas transaccionales en bodega, apoyar el control de inventarios y ayudar a los encargados de gestionar el stock con la definición de cantidades a ordenar y niveles de inventario a mantener por SKU. Estas funcionalidades, de acuerdo a lo encontrado en la revisión de literatura, aún no han sido incorporadas por un mismo sistema que haya sido implementado en Pymes.

Para garantizar una integración adecuada entre los subsistemas desarrollados (IMSS Mobile, IMSS Desktop Tool e IMSS Decision Maker Module), fue necesario crear una base de datos central a la que estos estén vinculados, lo cual permite simplificar la comunicación de datos entre los módulos que componen el sistema y proteger la integralidad de la información.

El subsistema para ejecución de tareas transaccionales (IMSS Mobile) se desarrolló como una aplicación web a la que se puede acceder a través de cualquier explorador de internet que sea ejecutado en un sistema operativo Windows. Esto evita procesos de instalación y requerimientos adicionales de hardware, a la vez que facilita su utilización en terminales de radiofrecuencia con lectura de códigos de barras y el acceso a la base de datos para actualizar en tiempo real de las cantidades disponibles en todas las ubicaciones de un almacén.

Así mismo, se construyó un módulo para control del inventario (denominado IMSS Desktop Tool) con el cual se evidenció, mediante una prueba piloto, que se facilita al personal administrativo conocer el inventario disponible y crear, modificar y gestionar la recepción y despacho de pedidos.

El módulo desarrollado para gestión del inventario (IMSS Decision Maker Module) sugiere las cantidades que se debería ordenar y mantener de cada ítem, apoyándose para ello en diferentes modelos y reglas de cálculo reconocidos en la literatura científica, los cuales toman datos históricos reales como información de entrada. Además, se logró incorporar en dicho módulo una funcionalidad que permite simular el comportamiento del inventario en el tiempo, calculando a partir de éste el valor esperado para diferentes indicadores de nivel de servicio y costo. De este modo, el sistema desarrollado otorga a los usuarios la posibilidad de evaluar la efectividad de las políticas de control definidas y examinar su desempeño en múltiples escenarios. Con esto se espera ayudar a disminuir la brecha reportada en la literatura de DSS entre la teoría y la práctica.

El simulador de IMSS Decision Maker Module fue puesto a prueba en una cantidad estadísticamente significativa de corridas. Las mediciones obtenidas logran evidenciar que la simulación genera resultados con una diferencia porcentual absoluta promedio (respecto a los niveles de servicio y costos calculados por los modelos teóricos) del 15.46% si se consideran los costos totales por faltantes y del 3% en caso contrario. Esto evidencia que, aunque hay un buen ajuste entre los valores obtenidos por el simulador y los calculados teóricamente, existe una oportunidad de mejora en la formulación incluida en el DSS para la estimación matemática del costo por faltantes.

La prueba piloto realizada al inventario de partes y repuestos de una Pyme del Valle de Aburrá, permitió comprobar que el sistema de gestión y control de inventarios desarrollado ayudó a incrementar la trazabilidad y el control de existencias almacenadas en la bodega, pero que para la implementación de este tipo de herramientas es necesario crear conciencia y disciplina en el personal, así como desarrollar controles encaminados a mejorar y mantener la exactitud del inventario en el sistema.

Se encontró que para utilizar adecuadamente el módulo de apoyo a la toma de decisiones, en empresas que todavía no cuentan con sistemas de información, es necesario tener primero una codificación y etiquetado de productos y ubicaciones, los cuales permitan implementar los módulos de control de inventarios, de modo que se genere un flujo estable de la información requerida como entrada para definir políticas de reabastecimiento.

Se considera que el sistema desarrollado puede significar grandes beneficios para las Mipymes que todavía controlan sus inventarios mediante sistemas básicos, como los Kardex, representados en un incremento de la trazabilidad de los productos y la definición de cantidades a mantener, frecuencias de revisión del inventario y cantidades a ordenar apoyadas en modelos teóricos y simulaciones, las cuales ayuden a lograr objetivos definidos por las compañías en relación a los niveles de servicio y costos del inventario.

## 10. TRABAJOS FUTUROS

La investigación presentada en este trabajo de grado puede servir como base para futuros estudios orientados a la evaluación del impacto que puede tener la variación de parámetros como el inventario inicial, la desviación de la demanda y los tamaños de lote sobre el ajuste entre los costos obtenidos por modelos de simulación y los calculados por modelos matemáticos para gestión del inventario. Igualmente, pueden desarrollarse investigaciones que ayuden a mejorar la estimación del costo por faltantes, con modelos robustos que sean capaces de adaptarse a diferentes condiciones de suministro y demanda.

Así mismo, puede ampliarse el alcance del DSS propuesto en este trabajo de grado para apoyar la toma de decisiones en procesos como clasificación ABC de productos y proyección de demanda, teniendo en cuenta que la información generada en dichos procedimientos se convierte en un insumo clave para la gestión del inventario.

De igual forma, puede explorarse la ampliación de las funcionalidades del módulo desarrollado para control de inventarios, de modo que se soporte actividades como crossdocking de mercancía y batch picking, al igual que la optimización de recorridos en la recolección de pedidos. Del mismo modo puede explorarse la ampliación de las funcionalidades del sistema para gestión del inventario, de modo que permita a los encargados de la toma de decisiones conocer reportes en tiempo real sobre índices de desempeño clave, productividad y rotación de los activos.

Finalmente, los modelos de gestión de inventarios incluidos en esta investigación pueden ser ampliados para considerar escenarios como el abastecimiento conjunto de artículos y los descuentos por cantidad.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. Gutiérrez and L. F. Rodríguez, “Diagnóstico regional de gestión de inventarios en la industria de producción y distribución de bienes,” *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, no. 45, pp. 157–171, 2008.
- [2] J. A. Gonzalez, J. L. Guasch, and T. Serebrisky, “Latin America : Addressing High Logistics Costs and Poor Infrastructure for Merchandise Transportation and Trade Facilitation,” in *Consulta de San José 2007*, 2007, pp. 1–38.
- [3] J. F. Arvis, D. Saslavsky, L. Ojala, B. Shepherd, C. Busch, and A. Raj, “Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy,” Washington, 2014.
- [4] M. F. Rey, “Encuesta Nacional Logística – Colombia 2008,” Atlanta, GA, 2008.
- [5] E. M. Shehab, M. W. Sharp, L. Supramaniam, and T. A. Spedding, “Enterprise resource planning : An integrative review,” *Bus. Process Manag. J.*, vol. 10, no. 4, pp. 359–386, 2004.
- [6] Y. Moon, “Enterprise Resource Planning (ERP): a review of the literature,” *Mech. Aerosp. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 235–263, 2007.
- [7] D. J. Power, “Decision Support Systems : A Historical Overview,” in *International Handbook on Information Systems 1*, Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 121–140.
- [8] R. K. Joyce, “Successful implementation of decision support systems for supply chain management within manufacturing companies,” Nova Southeastern University, 2005.
- [9] V. Gutiérrez and D. P. Jaramillo, “Reseña del software disponible en Colombia para la gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento,” *Estud. Gerenciales*, vol. 25, no. 110, pp. 125–153, 2009.
- [10] S. B. Eom and E. Kim, “A survey of decision support system applications (1995-2001),” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 57, no. 11, pp. 1264–1278, 2006.
- [11] X. J. Zhang, “The Evolution of Management Information Systems : A Literature Review,” *J. Integr. Des. Process Sci.*, vol. 17, no. 2, pp. 59–88, 2013.

- [12] D. Arnott and G. Pervan, "A critical analysis of decision support systems research," *J. Inf. Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 67–87, Apr. 2005.
- [13] G. A. Gorry and M. S. Scott Morton, "A framework for management information systems," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 13, no. 1, pp. 56–79, 1971.
- [14] S. Alter, *Decision support systems: current practice and continuing challenges*. Reading, MA, 1980, p. 316.
- [15] E. D. Carlson and R. H. Sprague Jr, *Building effective decision support systems*. Prentice Hall Professional Technical Reference, 1982, p. 329.
- [16] C. L. Meador and D. N. Ness, "Decision support systems: an application to corporate planning," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 15, no. 2, pp. 51–68, 1974.
- [17] D. Arnott, "Decision support systems evolution: framework, case study and research agenda," *Eur. J. Inf. Syst.*, vol. 13, no. 4, pp. 247–259, Sep. 2004.
- [18] H.-G. Chen and D. Sinha, "An inventory decision support system using the object-oriented approach," *Comput. Oper. Res.*, vol. 23, no. 2, pp. 153–170, 1996.
- [19] S. B. Eom, "Decision support systems research: current state and trends," *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 99, no. 5, pp. 213–221, 1999.
- [20] H. B. Eom and S. Lee, "A Survey of Decision Support System Applications (1971-April 1988)," *Interfaces (Providence)*, vol. 20, no. 3, pp. 65–79, 1990.
- [21] S. B. Eom, S. M. Lee, E. B. Kim, and C. Somarajan, "A survey of Decision Support System Applications (1988-1994)," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 49, no. 2, pp. 109–120, 1998.
- [22] E. W. T. Ngai, S. Peng, P. Alexander, and K. K. L. Moon, "Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: An academic review of research articles," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 1, pp. 81–91, Jan. 2014.
- [23] M. S. Scott Morton, "Management Decision Systems: Computer-based support for decision making," Harvard University, 1971.
- [24] T. C. E. Cheng and S. Li, "A decision support system for materials requirements planning lot-sizing," *Math. Comput. Model.*, vol. 13, no. 4, pp. 67–72, Jan. 1990.

- [25] S. B. Lahiri, "A decision-support modeling system for minimization of logistic support cost," *Prod. Invent. Manag. J.*, vol. 33, no. 4, pp. 75–80, 1992.
- [26] S. Prasad, V. Shah, and J. Hasan, "A prototype intelligent model management system for inventory decision support," *Omega Int. J. Manag. Sci.*, vol. 24, no. 2, pp. 153–166, Apr. 1996.
- [27] D. D. Achabal, S. H. McIntyre, S. a. Smith, and K. Kalyanam, "A decision support system for vendor managed inventory," *J. Retail.*, vol. 76, no. 4, pp. 430–454, Oct. 2000.
- [28] M.-D. Cohen, C. B. Kelly, and A. L. Medaglia, "Decision support with web-enabled software," *Interfaces (Providence)*, vol. 31, no. 2, pp. 109–129, 2001.
- [29] Y. Zeng, L. Wang, and J. Zhang, "A Web-Based Fuzzy Decision Support System for Spare Parts Inventory Control," in *Fuzzy Information and Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 601–609.
- [30] J. Shang, P. R. Tadikamalla, L. J. Kirsch, and L. Brown, "A decision support system for managing inventory at GlaxoSmithKline," *Decis. Support Syst.*, vol. 46, no. 1, pp. 1–13, Dec. 2008.
- [31] T. Miller, E. Peters, V. Gupta, and O. Bode, "A logistics deployment decision support system at Pfizer," *Ann. Oper. Res.*, vol. 203, no. 1, pp. 81–99, Jul. 2010.
- [32] J. Walker, "Decision support for the single-period inventory problem," *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 100, no. 2, pp. 61–67, 2000.
- [33] P. Basu and S. K. Nair, "A decision support system for mean–variance analysis in multi-period inventory control," *Decis. Support Syst.*, vol. 57, pp. 285–295, Jan. 2014.
- [34] D. Arnott and G. Pervan, "Eight key issues for the decision support systems discipline," *Decis. Support Syst.*, vol. 44, no. 3, pp. 657–672, Feb. 2008.
- [35] I. Van Nieuwenhuysse, L. De Boeck, M. Lambrecht, and N. J. Vandaele, "Advanced resource planning as a decision support module for ERP," *Comput. Ind.*, vol. 62, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2011.
- [36] F. A. Abril García and W. E. Rodríguez Caballero, "Diseño e implementación de una herramienta informática para realizar la gestión de inventarios en

‘VETIAGRO Distribuciones S.A.’ como soporte al sistema logístico,”  
Universidad Industrial de Santander, 2006.

- [37] S. Terzi and S. Cavalieri, “Simulation in the supply chain context: a survey,” *Comput. Ind.*, vol. 53, no. 1, pp. 3–16, Jan. 2004.
- [38] R. L. Ballard, “Methods of inventory monitoring and measurement,” *Logist. Inf. Manag.*, vol. 9, no. 3, pp. 11–18, 1996.
- [39] M. Hompel and T. Schmidt, “Management of Warehouse Systems,” in *Warehouse Management: Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems*, 2007, pp. 46–62.
- [40] M. Hompel and T. Schmidt, “Structure of a WMS from the Example of myWMS,” in *Warehouse Management: Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems*, Springer Berlin Heidelberg, Ed. Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 307–340.
- [41] R. H. Ballou, *Logística: Administración de la cadena de suministro*, 5ta Ed. México: Pearson Educación, 2004, p. 816.
- [42] E. A. Silver, D. F. Pyke, and R. Peterson, *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3ra Ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [43] S. Chopra and P. Meindl, *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*, 5ta Ed. Pearson Educación, 2008, p. 536.
- [44] J. W. M. Bertrand and J. C. Fransoo, “Operations management research methodologies using quantitative modeling,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 22, no. 2, pp. 241–264, 2002.
- [45] P. Gerhard, “What Does a Decision Support System (DSS) Do for Manufacturing?,” *Prod. Invent. Manag. J.*, vol. 33, no. 1, pp. 17–19, 1992.
- [46] C. Das and R. Tyagi, “WHOLESALE: A decision support system for wholesale procurement and distribution,” *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 24, no. 10, pp. 4–12, 1994.
- [47] G. P. Moynihan, P. S. Raj, J. U. Sterling, and W. G. Nichols, “Decision support system for strategic logistics planning,” *Comput. Ind.*, vol. 26, no. 1, pp. 75–84, Apr. 1995.

- [48] L. Ozdamar, M. A. Bozyel, and S. I. Birbil, "A hierarchical decision support system for production planning (with case study)," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 104, pp. 403–422, 1998.
- [49] S. Sundararajan, G. Srinivasan, W. O. Staehle, and E. W. Zimmers, "Application of a Decision Support System for operational decisions," in *23rd International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 1998, vol. 35, no. 98, pp. 141–144.
- [50] R. Kathuria, M. Anandarajan, and M. Igbaria, "Linking IT Applications with Manufacturing Strategy: An Intelligent Decision Support System Approach," *Decis. Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 959–991, Sep. 1999.
- [51] J. D. Linton and D. A. Johnston, "A Decision Support System for Planning Remanufacturing at Nortel Networks," *Interfaces (Providence)*, vol. 30, no. 6, pp. 17–31, Dec. 2000.
- [52] M. K. Mantrala and S. Rao, "A decision-support system that helps retailers decide order quantities and markdowns for fashion goods," *Interfaces (Providence)*, vol. 31, no. 3, pp. 146–165, 2001.
- [53] S. Mallya, S. Banerjee, and W. G. Bistline, "A Decision Support System for Production/ Distribution Planning in Continuous Manufacturing," *Decis. Sci.*, vol. 32, no. 3, pp. 545–556, Sep. 2001.
- [54] G. Polat, D. Arditi, and U. Mungen, "Simulation-Based Decision Support System for Economical Supply Chain Management of Rebar," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 133, no. 1, pp. 29–39, Jan. 2007.
- [55] A. Spyridakos, N. Tsotsolas, J. Mellios, Y. Siskos, D. Yannakopoulos, and P. Kyriazopoulos, "SAINC: self-adapting inventory control decision support system for cement industries," *Oper. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 183–198, Sep. 2008.
- [56] J.-C. Cheng and C.-Y. Chou, "A real-time inventory decision system using Western Electric run rules and ARMA control chart," *Expert Syst. Appl.*, vol. 35, no. 3, pp. 755–761, Oct. 2008.
- [57] N. Mukherjee and P. K. Dey, "Decision Support System for Spare Parts Warehousing," *Cost Eng.*, vol. 50, no. 5, pp. 24–34, 2008.
- [58] O. Cakir and M. Canbolat, "A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology," *Expert Syst. Appl.*, vol. 35, no. 3, pp. 1367–1378, Oct. 2008.

- [59] H. Min, "Application of a decision support system to strategic warehousing decisions," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 39, no. 4, pp. 270–281, 2009.
- [60] A. Aksoy, N. Ozturk, and E. Sucky, "A decision support system for demand forecasting in the clothing industry," *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 4, pp. 221–236, 2012.
- [61] R. Accorsi, R. Manzini, and F. Maranesi, "A decision-support system for the design and management of warehousing systems," *Comput. Ind.*, vol. 65, no. 1, pp. 175–186, Jan. 2014.

## 12. ANEXOS

### 12.1. ANEXO 1: APLICACIONES PUBLICADAS DE DSS EN OPERACIONES Y LOGÍSTICA

AÑO	AUTORES	TÍTULO PUBLICACIÓN	CONTRIBUCIÓN
1990	T.C.E. Cheng, S. Li [24]	A decision support system for materials requirements planning lot-sizing	DSS para el cálculo de tamaños de lote utilizando 3 heurísticos de amplio uso
1992	P. Gerhard [45]	What Does a Decision Support System (DSS) Do for Manufacturing?	Enumeración de posibles aplicaciones de DSS en todos los procesos de planeación, programación y control de sistemas de manufactura
1992	S. B. Lahiri [25]	A decision-support modeling system for minimization of logistic support cost	DSS para definir nivel de inventario requerido en cada eslabón de una cadena de suministros real, minimizando el costo total logístico asociado a la distribución de componentes
1994	C. Das, R. Tyagi [46]	WHOLESALE: A decision support system for wholesale procurement and distribution	DSS para el diseño de redes de distribución, definiendo asignación de clientes y proveedores a mayoristas para minimizar el costo total de abastecimiento, almacenamiento y distribución
1995	G. P. Moynihan, P. S. Raj, J. U. Sterling, and W. G. Nichols [47]	Decision support system for strategic logistics planning	DSS para planear la logística y actividades de distribución a nivel estratégico
1996	S. Prasad, V. Shah, and J. Hasan [26]	A prototype intelligent model management system for inventory decision support	Sistema de gestión que sugiere a los usuario el modelo de control de inventarios que deben utilizar

<b>AÑO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>TÍTULO PUBLICACIÓN</b>	<b>CONTRIBUCIÓN</b>
1998	L. Ozdamar, M. A. Bozyel, S. I. Birbil [48]	A hierarchical decision support system for production planning (with case study)	Desarrollo e implementación de un DSS (con programación matemática y algoritmos heurísticos) para planeación de la producción agregada y por producto
1998	S. Sundararajan, G. Srinivasan, W. O. Staehle, and E. W. Zimmers [49]	Application of a Decision Support System for operational decisions	Aplicación de DSS en programación de producción
1999	R. Kathuria, M. Anandarajan, M. Igbaria [50]	Linking IT Applications with Manufacturing Strategy: An Intelligent Decision Support System Approach	Desarrollo de un sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones (IDSS) para la selección de sistemas de información que se ajusten a las estrategias competitivas de manufactura y a la estructura de procesos en las compañías
2000	D. D. Achabal, S. H. McIntyre, S. a. Smith, and K. Kalyanam [27]	A decision support system for vendor managed inventory	DSS para pronóstico de ventas y gestión de inventarios en sistemas VMI
2000	J. D. Linton, D. A. Johnston [51]	A Decision Support System for Planning Remanufacturing at Nortel Networks	DSS para evaluación de capacidades requeridas en procesos de remanufactura mediante simulación con dinámica de sistemas
2000	J. Walker [32]	Decision support for the single-period inventory problem	DSS para la definición de cantidades a ordenar, en productos con demanda de un solo período, mediante simulación de Monte Carlo
2001	M. D. Cohen, C. B. Kelly, A. L. Medaglia [28]	Decision support with web-enabled software	Descripción de varios DSS desarrollados utilizando arquitectura cliente-servidor con múltiples servidores para potenciar el uso de la red. Reportan el desarrollo de un DSS para definición de punto

AÑO	AUTORES	TÍTULO PUBLICACIÓN	CONTRIBUCIÓN
			de reorden y nivel de inventario máximo por tipo de producto
2001	M. K. Mantrala, S. Rao [52]	A decision-support system that helps retailers decide order quantities and markdowns for fashion goods	Propuesta de un DSS con programación dinámica para la definición de descuentos y de cantidades a ordenar al inicio de colecciones en productos de moda
2001	S. Mallya, S. Banerjee, W. G. Bistline [53]	A Decision Support System for Production/Distribution Planning in Continuous Manufacturing	DSS para la definición de cantidades a producir en varias plantas que abastecen diferentes centros de distribución con múltiples clientes y productos
2005	R. Joyce [8]	Successful implementation of decision support systems for supply chain management within manufacturing companies	Evaluación y diferenciación de las estrategias que deberían seguirse para la implementación exitosa de DSS, en comparación con las seguidas para la implementación de sistemas ERP
2007	G. Polat, D. Arditi, U. Mungen [54]	Simulation-Based Decision Support System for Economical Supply Chain Management of Rebar	DSS para la selección, mediante simulación, de tamaños de lote, estrategias de programación y cantidad de inventario en proceso, en el suministro de barras de refuerzo para obras civiles
2007	Y. Zeng, L. Wang, J. Zhang [29]	A Web-Based Fuzzy Decision Support System for Spare Parts Inventory Control	DSS para la definición de cantidades a comprar y a mantener de repuestos en plantas de energía nuclear
2008	A. Spyridakos, N. Tsotsolas, J. Mellios, Y. Siskos, D. Yannakopoulos, and P. Kyriazopoulos [55]	SAINC: self-adapting inventory control decision support system for cement industries	DSS para control de inventario en la industria del cemento

<b>AÑO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>TÍTULO PUBLICACIÓN</b>	<b>CONTRIBUCIÓN</b>
2008	J. Shang, P. R. Tadikamalla, L. J. Kirsch, and L. Brown [30]	A decision support system for managing inventory at GlaxoSmithKline	DSS para determinar el stock de seguridad y los días de cobertura para cada SKU implementado en GlaxoSmithKline
2008	J.-C. Cheng and C.-Y. Chou [56]	A real-time inventory decision system using Western Electric run rules and ARMA control chart	Propuesta de un DSS para controlar inventario y monitorear el comportamiento de la demanda
2008	N. Mukherjee, P. Dey [57]	Decision Support System for Spare Parts Warehousing	GDSS que emplea AHP para la selección en grupos de decisión entre varias alternativas de almacenamiento de repuestos
2008	O. Cakir, M. Canbolat [58]	A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology	Propuesta e implementación de un DSS en línea para clasificación ABC multicriterio de items empleando fuzzy y AHP (Analytic Hierarchy Process) para la ponderación de los criterios
2009	H. Min [59]	Application of a decision support system to strategic warehousing decisions	DSS para apoyar selección entre varias alternativas de ubicación y layout en bodegas de almacenamiento. El DSS está compuesto por una base de datos actualizada en tiempo real, un simulador y un modelo AHP
2010	T. Miller, E. Peters, V. Gupta, O. Bode [31]	A logistics deployment decision support system at Pfizer	DSS para planificar diariamente las cantidades a abastecer entre diferentes eslabones de la amplia cadena de suministros multi-escalón de Pfizer. El DSS propuesto se basa en las restricciones de capacidad de almacenamiento y en los pedidos proyectados y en firme de cada artículo

AÑO	AUTORES	TÍTULO PUBLICACIÓN	CONTRIBUCIÓN
2012	A. Aksoy, N. Ozturk, E. Sucky [60]	A decision support system for demand forecasting in the clothing industry	DSS que utiliza conceptos de redes neuronales y sistemas fuzzy para pronosticar la demanda de productos con poca información histórica de ventas, ciclo de vida corto y alta variabilidad
2014	P. Basu, S. Nair [33]	A decision support system for mean-variance analysis in multi-period inventory control	DSS para la selección de cantidades a ordenar en sistemas multi-periodo, con el que se obtienen soluciones con una utilidad cercana a la máxima y reducciones significativas del riesgo asociado al inventario
2014	R. Accorsi, R. Manzini, F. Maranesi [61]	A decision-support system for the design and management of warehousing systems	DSS para el diseño de centros de distribución buscando minimizar la distancia total recorrida en labores de picking. El aplicativo permite crear y modificar el layout y el slotting de productos, así como simular varios escenarios utilizando heurísticos para la asignación de productos a posiciones y reducción de distancias recorridas en picking

## 12.2. ANEXO 2: FORMULACIÓN DE MODELOS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS UTILIZADOS EN EL DSS PROPUESTO

La nomenclatura y formulación empleada en este anexo es basada en la propuesta por Silver et al. [42]. La siguiente es la notación matemática empleada en la formulación de los modelos:

A: Costo de generar una orden del artículo [\$/orden]

D: Demanda anual del artículo [unidades/año]

v: Costo del artículo [\$/unidad]

r: Costo de mantener el artículo en inventario [\$/\$/año]

p: Tasa anual de producción [unidades/año]

Q: Cantidad pedida [unidades]

L: Tiempo de entrega [años]

R: Tiempo entre revisiones del inventario [años]

$\sigma_L$ : Desviación de la demanda durante el tiempo de entrega [unidades]

$\hat{x}_L$ : Demanda esperada durante el tiempo de entrega [unidades]

$\sigma_{R+L}$ : Desviación de la demanda durante el tiempo de entrega y el período de revisión [unidades]

$\hat{x}_{R+L}$ : Demanda esperada durante el tiempo de entrega y el período de revisión [unidades]

$B_1$ : Costo por ocasión de agotados [\$/]

$B_2$ : Costo por unidad agotada [\$/unidad]

$P_1$ : Probabilidad de no presentar agotados por ciclo de abastecimiento

$P_2$ : Porcentaje de demanda a abastecer desde el estante

k: Factor de seguridad

$G_u(k)$ : Función especial de la distribución normal para hallar el número de faltantes por ciclo

$p_u(k)$ : Probabilidad de que una variable distribuida normalmente tome un valor mayor a  $k$

$s$ : Punto de reorden [unidades]

$S$ : Nivel de inventario Máximo [unidades]

$ss$ : Stock de seguridad [unidades]

TRC: Costo total relevante [\\$]

El sistema desarrollado busca apoyar la toma de decisiones empleando tres modelos diferentes de gestión de inventarios. A continuación se detalla la formulación empleada para cada uno:

### 12.2.1. Modelo de punto de reorden y cantidad fija a ordenar ( $s, Q$ ).

Para calcular el tamaño del lote a ordenar ( $Q$ ), el usuario puede seleccionar entre el modelo EOQ (Economic Order Quantity) y el modelo EPQ (Economic Production Quantity), los cuales son calculados mediante la siguiente formulación:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * A * D}{v * r}}$$

$$EPQ = EOQ * \sqrt{\frac{1}{1 - (D/p)}}$$

El punto de reorden está definido por la siguiente ecuación:

$$s = \hat{x}_L + ss$$

Donde:

$$ss = k * \sigma_L$$

### 12.2.2. Modelo de punto de reorden y cantidad a pedir máxima (s,S):

El punto de reorden  $s$  es calculado de la misma forma que en el modelo (s,Q), mientras que el nivel de inventario máximo  $S$  es determinado empleando la siguiente formulación:

$$S = s + Q$$

### 12.2.3. Sistema de revisión periódica y cantidad a pedir máxima (R,S)

La frecuencia de revisión ( $R$ ) generalmente es definida por las compañías dependiendo del nivel de importancia del artículo, las restricciones físicas que implique la revisión del inventario o la periodicidad con que se desee generar pedidos del ítem. Sin embargo, en la Tabla 5 se presenta el conjunto de analogías con las que se puede calcular fácilmente los parámetros del modelo (R,S) a partir de las formulaciones enunciadas para el modelo (s,Q).

Tabla 5. Analogía entre parámetros de modelos (s,Q) y (R,S)

Modelo (s,Q)		Modelo (R,S)
s	→	S
Q	→	D*R
L	→	R+L

Los tres modelos referenciados utilizan el cálculo del stock de seguridad  $ss$  para absorber las variaciones propias de la demanda. Para definir  $ss$  es necesario conocer con anterioridad el valor del factor de seguridad  $k$ , el cual puede ser computado por medio de cuatro reglas diferentes:

1. Cuando se quiere minimizar el costo de faltantes asociando una penalización por ocasión de agotados ( $B_1$ ):

Se debe calcular la siguiente relación:

$$\frac{DB_1}{\sqrt{2\pi}Qv\sigma_L r}$$

Si dicha relación es menor a uno se debe dar a  $k$  un valor mínimo admisible definido como parte de la política de inventarios o se debe seleccionar otra

regla de decisión. En caso contrario, el factor de seguridad estará definido por la siguiente expresión:

$$k = \sqrt{2 \ln \left( \frac{DB_1}{\sqrt{2\pi} Q v \sigma_L r} \right)}$$

2. Si se desea minimizar el costo de faltantes asociando una penalización por unidad agotada ( $B_2$ ):

Si el siguiente cociente es mayor a uno se debe dar a  $k$  un valor mínimo admisible o seleccionar otra regla de decisión:

$$\frac{Qr}{DB_2}$$

De lo contrario, se debe seleccionar un valor de  $k$  que cumpla con la siguiente igualdad:

$$p_u(k) = \frac{Qr}{DB_2}$$

3. Cuando se busca definir el stock de seguridad requerido para cumplir con una probabilidad específica de no presentar faltantes por ciclo de abastecimiento ( $P_1$ ):

Se debe seleccionar un valor de  $k$  que satisfaga la siguiente ecuación:

$$p_u(k) = 1 - P_1$$

4. Si se desea definir el stock de seguridad requerido para garantizar una fracción de demanda satisfecha desde el estante ( $P_2$ ):

Si se admiten pedidos pendientes, se debe seleccionar un valor para  $k$  que cumpla con la siguiente relación:

$$G_u(k) = \frac{Q}{\sigma_L} (1 - P_2)$$

Si las unidades agotadas son consideradas como ventas perdidas,  $k$  deberá satisfacer la siguiente igualdad:

$$G_u(k) = \frac{Q}{\sigma_L} \left( \frac{1 - P_2}{P_2} \right)$$

En ambos casos debe asegurarse que el valor seleccionado para  $k$  sea mayor al valor mínimo definido como parte de la política de inventarios.

#### 12.2.4. Cálculo del costo total relevante

Una vez conocidos los valores de los parámetros a utilizar para gestionar el inventario, se pueden estimar los costos en que se incurrirá por la generación de pedidos, mantenimiento de unidades en inventario e insatisfacción de la demanda. La suma de estos costos se denomina costo total relevante y se calcula a partir de las siguientes expresiones:

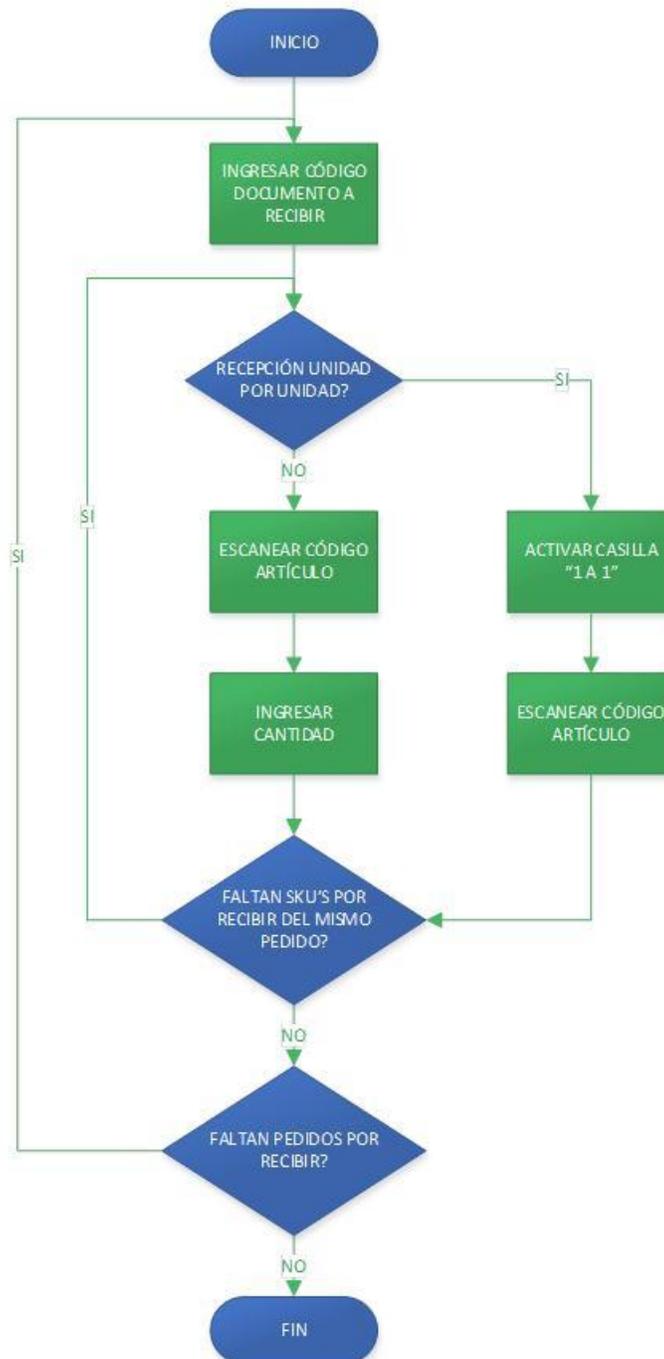
$$TRC = \frac{AD}{Q} + \left( \frac{Q}{2} + k\sigma_L \right) vr + \frac{D}{Q} B_1 p_u(k)$$

$$TRC = \frac{AD}{Q} + \left( \frac{Q}{2} + k\sigma_L \right) vr + \frac{D}{Q} B_2 v \sigma_L G_u(k)$$

El uso de una u otra ecuación para calcular el costo total relevante dependerá de la forma como se desee penalizar las unidades agotadas en el inventario (utilizando  $B_1$  ó  $B_2$ ) y su adecuación a los parámetros manejados por cada modelo se puede realizar fácilmente empleando las analogías reportadas en la Tabla 5.

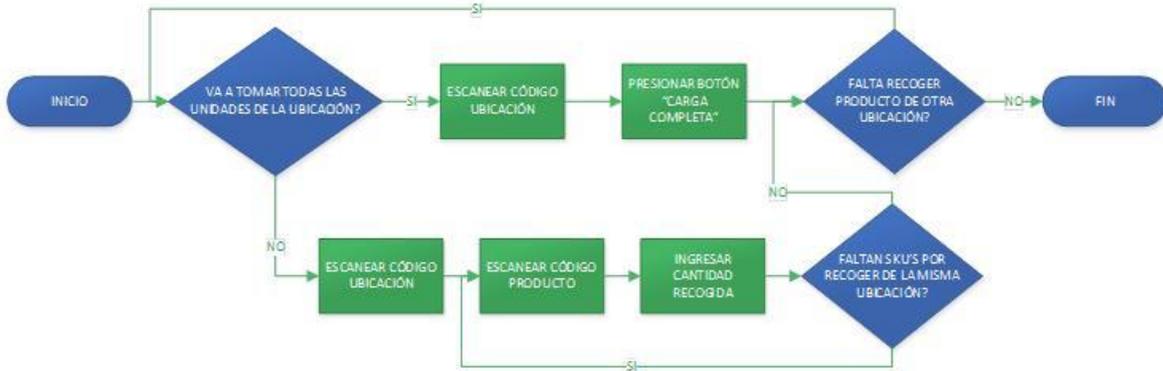
### 12.3. ANEXO 3: DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESO SEGUIDO PARA LA OPERACIÓN EN BODEGA CON IMSS

#### 12.3.1. Recepción de mercancía.

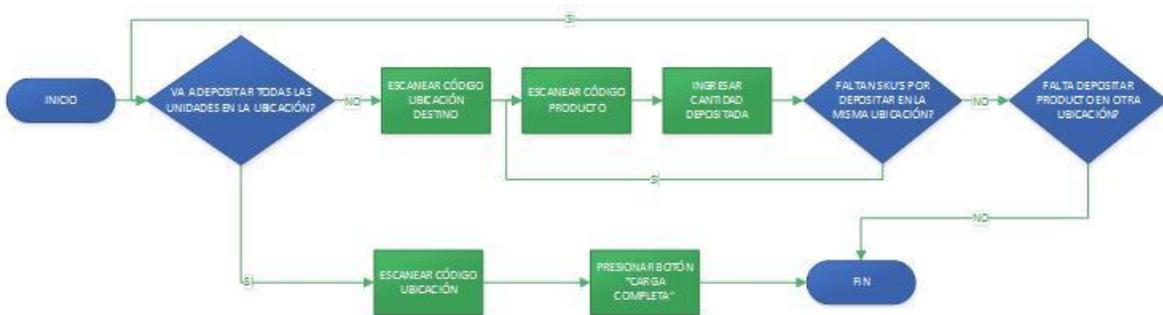


### 12.3.2. Traslado de producto entre ubicaciones.

- Toma de producto a trasladar:



- Depósito de producto en ubicación de destino:



### 12.3.3. Picking de pedidos.

