

# Diseño del modelo de gestión de inventarios de baterías en la empresa LRV

Design of the battery inventory management model in the LRV Company

Claudia Patricia Guzmán Caicedo<sup>1</sup>  
claudia.guzman00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de [Ingeniería Industrial] (1)

## **Resumen**

Se propone un modelo de gestión de inventarios de baterías automotrices en la empresa LRV considerando los artículos tipo A con el fin de reducir el nivel de agotados y mejorar el servicio al cliente y la rentabilidad; no existen métodos de pronóstico ni políticas de inventario, se hacen pedidos urgentes permanentemente y hay bajo cumplimiento de entregas. Con la clasificación ABC se identificaron los artículos de mayor impacto en ventas y se utilizó el comportamiento histórico de la demanda para determinar el patrón de cada uno, mediante simulación se escogió el método de pronóstico teniendo en cuenta el error. La clasificación de la demanda de los artículos permitió definir el sistema de control considerando para la demanda determinística los modelos EOQ y demanda variante con el tiempo, para la demanda probabilística con revisión continua los modelos s-Q y s-S, y para la demanda probabilística con revisión periódica los modelos R-S y R-s-S. Se planteó el manejo con sistema min-máx. adaptado para un artículo con demanda errática. La investigación evidenció que el 22,8% de los artículos aportan el 62% de las ventas totales. Los mejores pronósticos para patrones de tendencia se obtienen con regresión lineal simple y para patrones perpetuos con suavización exponencial simple y promedio móvil con N=10 a 12; se estableció también que se obtienen por formulación valores de R muy elevados que pueden ser poco prácticos.

*Palabras Clave:* gestión de inventarios, control de inventarios, pronósticos de demanda, políticas de inventarios

## **Abstract**

Here it is proposed a model of inventory management for automobile batteries at the LRV Company. Said model takes into account articles of type A with the objective of reducing the current level of sold out articles, as well as enhancing profitability, and customer service; there are neither prediction methods nor inventory politics, urgent requests are made permanently and delivery compliance is low. By using both, the ABC classification and the historical behavior of the demand to determine patterns, the articles of greater impact on sales were identified. Through simulation, and taking into account the error, the prediction method was chosen. The article-demand classification allowed the definition of the control system for each one of them, considering firstly, for the determinist demand, the EOQ and the time-varying demand models with periodic revision of the s-Q and s-S models. Secondly, for the probabilistic demand with continuous revision, the R-S and R-s-S models were defined. For an article with unpredictable demand, an adapted min-to-max system was formulated. This research showed that 22,8% of the articles provide 62% of the total sales. The best predictions for trend patterns are obtained through simple linear regression, and for perpetual patterns, simple exponential softening and mobile average with N=10 to 12. It was established that patterns are also obtained by formulating very high values for R that may be a bit unpractical.

*Keywords:* inventory management, inventory control, demand forecasts, inventory policies

## **1. INTRODUCCIÓN**

La gestión de los inventarios es uno de los factores claves en la eficiencia y competitividad de las organizaciones. “el manejo de los inventarios tiene un impacto significativo en la gestión administrativa, ya que afecta directamente los estados financieros de la empresa” (Vidal Holguín, 2017, p.19). La tendencia a tener disponibilidad de producto permanentemente de tal forma que no se ponga en riesgo la oportunidad de venta, genera una gran dificultad para tomar la decisión correcta sobre cuál es la cantidad de inventario adecuada. La gestión de los inventarios y las decisiones que sobre este aspecto se tomen afectan toda la cadena de valor de una empresa, son de alto riesgo, y determinan en gran medida su ventaja competitiva; uno de los factores más importantes sobre esta gestión “es que las empresas tienen mucho dinero invertido en inventarios y que el costo de administrarlos representa, anualmente, entre 25 y 35 por ciento del valor

del inventario” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2007, p.634).

La empresa LRV distribuidora y comercializadora de baterías para autos en la región del Valle del Cauca, ha experimentado durante los últimos tres años dificultades con el nivel de inventario de producto; se ha presentado agotamiento de referencias hasta del 8,7% de la oferta y se debe acudir permanentemente a pedidos urgentes. Se utiliza un sistema de revisión periódica del inventario con frecuencia semanal, pero no existe método de pronóstico validado para establecer la demanda y por lo tanto tampoco hay evaluación del nivel de error de los pedidos complicando el logro de mejoras en el proceso. Los pedidos se definen bajo el conocimiento y experiencia de la administración y se carece de políticas de control de inventario; los indicadores de cumplimiento promedio en tiempo de entrega y en cantidades entregadas son del 91% y 78% respectivamente.

Afirman Bowersox, Closs, & Cooper (2007) “el inventario es un activo corriente que debe producir un retorno sobre el capital invertido” (p.132). La implementación de un modelo de gestión de inventarios contribuye a la disminución de costos operativos y administrativos generados por reprocesos y por mantenimiento de inventarios, impacta en la reducción de agotados al tener disponibilidad de producto incrementando así el cumplimiento de entregas y el ingreso por ventas y, conlleva a mejorar el servicio al cliente y la imagen corporativa. Se estima que un incremento del 12% en el cumplimiento de entregas podría aumentar la rentabilidad en un 1,2% aproximadamente.

Se propone con este trabajo presentar un marco de referencia sobre el cual se construye un modelo de gestión de inventario de baterías que permita clasificar los artículos de mayor impacto en las ventas totales identificados como tipo A, definir el patrón de demanda para cada uno y establecer el método de pronóstico más adecuado en cada caso, y generar la política de control de inventarios de cada artículo respondiendo apropiadamente a las preguntas cuánto pedir, cuándo pedir, y cuándo revisar. Este artículo ha sido estructurado en cuatro secciones. Esta introducción corresponde a la sección 1 en la cual se explica la problemática actual y la justificación de abordarla, y contiene el marco teórico aplicado en el desarrollo de la investigación y el estado del arte resultante de la revisión de la literatura; la sección 2 muestra la metodología con la descripción detallada de las actividades que se realizaron para el cumplimiento de los objetivos propuestos; luego, en la sección 3 de resultados y discusión se documentan las tablas de datos obtenidos en el proceso investigativo así como los comentarios sobre los hallazgos más relevantes; finalmente, la sección 4 presenta las conclusiones y algunas recomendaciones que podrían apoyar trabajos futuros.

## **1.1 Marco Teórico**

Uno de los recursos más importantes para mantener y mejorar los niveles de servicio en las cadenas de suministro son los inventarios. Chase, et al. (2007) señalan que “un inventario constituye la cantidad de existencias de un bien o recurso cualquiera usado en una organización” (p.607).

El enfoque general del análisis de inventarios es determinar dos aspectos importantes que son cuánto y cuándo pedir. “Su buena administración significa mantenerlos al nivel más bajo posible consistente en un equilibrio de costos directos e indirectos, asignados a su nivel y con la necesidad de mantener un nivel deseado de disponibilidad del producto” (Ballou, 2004, p.389).

### **1.1.1 Clasificación ABC de Productos**

El primer paso para los análisis de la administración de inventarios en función de la demanda de los productos es establecer los artículos o referencias que tienen mayor impacto en la empresa (a nivel de ventas, de utilidad o de costos). Para el desarrollo de este trabajo se utiliza como criterio de clasificación ABC la participación del artículo en las ventas de la empresa. Vidal Holguín (2017) señala que todos los artículos no requieren el mismo control de inventario y propone la clasificación ABC estructurada bajo el Principio de Pareto, que establece la lógica de que el 20% de los artículos

representan aproximadamente el 80% de las ventas totales, este esquema permite establecer diferencias en los controles de los niveles de inventario de los artículos. De acuerdo con Silver, Pyke, & Thomas (2017) se pueden usar tres niveles de prioridad con la clasificación ABC: A con los artículos más importantes entre el 10 y 20%, B con los de importancia intermedia entre el 20 y 40%, y C con los menos importantes que constituyen el resto y son los más numerosos.

### 1.1.2 Patrones de Demanda

El estudio de los patrones de demanda implica la comprensión de las dos clases de demanda: demanda independiente y demanda dependiente. La demanda independiente es producida por agentes externos a la empresa, mientras que la demanda dependiente o derivada surge de otras demandas; la primera se estudia bajo pronósticos estadísticos y la segunda se resuelve con sistemas de producción como el MRP (Chase, et al., 2007) y (Vidal Holguín, 2017). En la empresa LRV la demanda de baterías es de tipo independiente.

De forma general, los diferentes artículos que se manejan en una organización tienden a formar distintos patrones de demanda en el transcurso del tiempo o en períodos de tiempo definidos. Según Ballou (2004) los patrones de demanda pueden responder a comportamientos regulares o irregulares; los patrones de demanda regular pueden ser: Perpetua o Uniforme, Tendencia (creciente o decreciente), y Estacional o Periódica; los patrones de demanda irregular se definen como Erráticos. Tanto los patrones regulares como los irregulares se pueden identificar por las características del gráfico Tiempo Vs. Demanda, y por los resultados de la medición del valor CVD (Coeficiente de Variación de la Demanda) para cada caso tal como se describe en la tabla 1.

**Tabla 1. Patrones de demanda según CVD y características del gráfico**

DEMANDA Vs. PATRONES				
TIPO DE DEMANDA	DEMANDA	CVD	PATRÓN IDENTIFICABLE	CONSIDERACIONES
Determinística	Es conocida	$\leq 0.3$	La demanda es constante y conocida	
			La demanda es variable con el tiempo pero conocida	
Probabilística	Es desconocida	$> 0.3$	$< 0.3$	Perpetua, estable o uniforme El gráfico tiene tendencia lineal, hay variaciones pero está controlado dentro de cierto rango
			$0.3 - 0.8$	Tendencia (creciente o decreciente) El gráfico tiene una tendencia lineal ascendente o descendente, igualmente hay variaciones pero está controlado dentro de cierto rango
				Periódico o estacional El gráfico presenta ciclos o comportamientos similares cada determinado período
			$\geq 1$	Errática El gráfico muestra gran aleatoriedad, no se observa ninguna tendencia, no hay ciclos y en la mayoría de los casos hay valores de demanda con caída a cero

Fuente: adaptado de (Vidal Holguín 2017, p. 56, 57, 173,174)

El coeficiente de variación de la demanda (CVD) obedece a lo que estadísticamente se conoce como coeficiente de variación de Pearson. Vásquez & Caballero (2011) opinan que “el coeficiente de variación de Pearson, ha resultado ser una medida de dispersión de amplia utilización, cuando se pretende comparar la dispersión entre varias poblaciones, de una o diferentes variables medidas en la misma o diferentes escalas” (p.2). El CVD se calcula dividiendo la desviación estándar de la demanda entre la demanda promedio.

1.1.3 Métodos de Pronóstico de la Demanda

Los pronósticos de la demanda son la base de la planeación. Aunque en el desarrollo de este estudio se utiliza información cuantitativa (datos históricos) es importante que la empresa considere siempre la información cualitativa que pueda contribuir a mejorar el pronóstico. De acuerdo con Vidal Holguín (2017) los métodos de pronóstico se clasifican en seis grupos: cualitativos, series de tiempo, causales, por analogía, simulación, y combinación de los anteriores. La tabla 2 presenta el sistema de pronóstico recomendado de acuerdo con el patrón de demanda observado.

**Tabla 2. Pronóstico recomendado según patrón de demanda**

<b>PATRÓN DE DEMANDA OBSERVADO</b>	<b>SISTEMA DE PRONÓSTICO RECOMENDADO</b>
Perpetua, estable o uniforme	Promedio móvil Suavización exponencial simple
Con tendencia creciente o decreciente	Regresión lineal simple Suavización exponencial doble
Estacional o periódica	Modelos periódicos de Winters
Demandas altamente correlacionadas	Métodos integrados de promedios móviles auto-regresivos (ARIMA)
Errática (por ejemplo, en ítems clase A de bajo movimiento)	Pronóstico combinado de tiempo entre la ocurrencia de demandas consecutivas y la magnitud de las transacciones individuales (Método de Croston y relacionados)

**Fuente: Vidal Holguín (2017, p.85)**

Para el pronóstico de LRV se aplican métodos de series de tiempo. Chopra & Meindl (2008) explican que los métodos de series de tiempo utilizan la demanda histórica para hacer pronósticos y son simples de implementar. La tabla 3 presenta la formulación matemática aplicada para cada modelo de pronóstico utilizado así como el autor acogido en cada caso.

Tabla 3. Modelo matemático para cada tipo de pronóstico

MODELO DE PRONÓSTICO	MODELO MATEMÁTICO	NOTACIÓN EMPLEADA
<b>Promedio Móvil Simple</b>	$M_T = \frac{X_T + X_{T-1} + X_{T-2} + \dots + X_{T-N+1}}{N}$ <p>Fuente: Vidal Holguín (2017), p.87</p>	<p><math>M</math>: pronóstico del período  <math>T</math>: período actual  <math>X</math>: dem. real observada al final del período actual <math>T</math>.  <math>N</math>: número de períodos a devolverse</p>
<b>Suavización exponencial simple</b>	$S_T = \alpha X_T + (1 - \alpha) S_{T-1}$ <p>Fuente: Vidal Holguín (2017), p.95</p>	<p><math>S_T</math>: pronóstico realizado al final del período <math>T</math>  <math>S_{T-1}</math>: pronóstico anterior (final del período <math>T-1</math>)  <math>X</math>: dem. real observada al final del período actual <math>T</math>.  <math>\alpha</math>: constante de suavización (<math>0 \leq \alpha \leq 1</math>)</p>
<b>Regresión lineal simple</b>	$Y = a + bX$ <p>Fuente: Ballou (2004), p.306</p>	<p><math>Y</math>: valor de la variable dependiente (demanda)  <math>a</math>: intercepto con el eje <math>X</math>  <math>b</math>: pendiente  <math>X</math>: tiempo (<math>t</math>)</p>
<b>Suavización exponencial doble</b>	$S_T^{[2]} = \alpha S_T + (1 - \alpha) S_{T-1}^{[2]}$ <p>Fuente: Vidal Holguín (2017), p.95</p>	<p>La misma notación de suavización exponencial simple. Se aplica de nuevo el operador al resultado de la suavización simple, utilizando la misma constante de suavización <math>\alpha</math>. El [2] indica que se está realizando el mismo proceso por segunda vez (no es función cuadrática)</p>
<b>Holt-Winters</b>	$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$ $S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L}$ $Y_{t+p}' = (A_t + pT_t)S_{t-L+p}$ <p>Fuente: Montgomery, Johnson, &amp; Gardiner (1990), p.137-145</p>	<p><math>A_t</math>: valor suavizado en el período <math>t</math>  <math>T_t</math>: estimación de la tendencia del período <math>t</math>  <math>S_t</math>: estimación de la estacionalidad del período <math>t</math>  <math>L</math>: longitud de la estacionalidad  <math>p</math>: número de períodos a pronosticar en el futuro  <math>Y_{t+p}</math>: valor del pronóstico para <math>t</math> períodos  <math>\alpha</math>: constante de suavización del prom. de los datos (<math>0 \leq \alpha \leq 1</math>)  <math>\beta</math>: constante de suavización de la estim. de tendencia (<math>0 \leq \beta \leq 1</math>)  <math>\gamma</math>: constante de suavización de la estacionalidad (<math>0 \leq \gamma \leq 1</math>)</p>

Fuente: (Vidal Holguín, 2017), (Ballou, 2004), (Montgomery et.al, 1990)

#### 1.1.4 Error del Pronóstico

Todos los pronósticos de la demanda incluyen un componente aleatorio que se evidencia como un error de pronóstico, la medición y análisis de este error ofrece oportunidades de corrección y mejoramiento del método. El error del pronóstico determina qué tan cerca está el valor pronosticado del valor de demanda real, está definido como la diferencia entre la demanda real y la demanda pronosticada. Vidal Holguín (2017) muestra que hay tres tipos de indicadores de error que pueden usarse: la desviación absoluta media (MAD), el error cuadrático medio (ECM), y la desviación absoluta porcentual media (MAPE). En el desarrollo de este trabajo se determinaron el MAD y el ECM mediante las fórmulas que se muestran a continuación:

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

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

“La MAD se define como el promedio de los errores absolutos sobre un número determinado de períodos, y el ECM se define como el promedio de los errores cuadráticos sobre un número determinado de períodos” (Vidal Holguín, 2017, p.78). Así mismo, Silver, et al. (2017) consideran que la importancia y utilidad de los resultados del sistema de pronósticos, radica no solamente en el error que resulte sino en la aceptación, confianza y utilización que la organización le dé a dicho sistema.

1.1.5 Sistemas de Control de Inventarios

Vidal Holguín (2017) afirma que “cualquier sistema de administración de inventarios debe resolver tres preguntas fundamentales para cada ítem en particular: ¿Con qué frecuencia debe revisarse el inventario del ítem?, ¿Cuándo debe ordenarse el ítem?, ¿Qué cantidad del ítem debe ordenarse en cada requisición?” (p.44).

Existen varios modelos de control de inventarios según sea la demanda determinística o probabilística. La tabla 4 presenta de forma resumida los posibles sistemas de control de inventarios que pueden manejarse; la decisión sobre cuál modelo adoptar depende de varios factores pero prioritariamente se deben considerar las características de la empresa para establecer el más adecuado para cada artículo buscando siempre un equilibrio entre los costos y al nivel de servicio.

Tabla 4. Sistemas de Control de Inventarios según Tipo de Demanda

DEMANDA		SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS							
TIPO	CVD	MODELO DE REVISIÓN		PARÁMETROS	INVENTARIO DE SEGURIDAD	LEAD TIME	CARACTERÍSTICAS		
DEMANDA DETERMINÍSTICA	≤ 0.3	MODELO EOQ (Demanda conocida y constante)	Se aplica EOQ		EOQ, A, D, v, r,	No se requiere	L = 0	Lead time se asume como cero.	
		MODELO DE DEMANDA VARIANTE CON EL TIEMPO (Demanda conocida pero variable)	Uso de EOQ	1) Pedido para períodos enteros con demanda aproximada al EOQ 2) Pedidos iguales al EOQ 3) No. Entero de períodos redondeado a partir del EOQ				Se asume lead time igual a cero. (Los pedidos llegan al comienzo de los períodos donde son requeridos)	
			Uso de un Modelo Matemático	1) Algoritmos 2) Programación Matemát. Ent. Mixta					
			Uso de métodos aproximados o heurísticos	1) Heurístico de Silver-Meal 2) Heurístico del balanceo de períodos					
DEMANDA PROBABILÍSTICA	> 0.3	SISTEMA DE REVISIÓN CONTINUA (se activa con s)	Sistema (s, Q)	Sistema de los dos cajones (two-bin system)		Se requiere	L > 0, pero constante y conocido	Se revisa continuamente y cuando se llega al punto de reorden s o por debajo, se pide la cantidad fija Q.	
			Sistema (s, S)	Sistema min-max				Se revisa continuamente y cuando se llega al punto de reorden s o por debajo, se pide la cantidad necesaria para alcanzar el nivel de inventario S.	
		SISTEMA DE REVISIÓN PERIÓDICA (se activa con R)	Sistema (R, S)	Sistema del ciclo de reposición				R, S	Se revisa cada R definido y se pide la cantidad necesaria para alcanzar el nivel de inventario S.
			Sistema (R, s, S)	Sistema híbrido de (s, S) y (R, S)				s, R, S	Se revisa cada R definido, si se encuentra en s ó por debajo se pide la cantidad necesaria para llegar al nivel S; si se encuentra por encima de s, se espera el tiempo de revisión R para decidir si se pide.

Fuente: adaptado de (Vidal Holguín, 2017)

Los sistemas descritos en la tabla 4 requieren de algunos parámetros a través de los cuales puede llegarse a la definición de la política de inventarios apropiada para el artículo. La tabla 5 presenta los parámetros a considerar cuando se definen los sistemas de control de inventario así como la fórmula matemática para calcular su valor.

Tabla 5. Parámetros para Sistemas de Control de Inventarios

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	FÓRMULA MATEMÁTICA
<i>EOQ</i>	Cantidad económica de pedido	$Q = EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{vr}}$
<i>Q</i>	Cantidad o tamaño de la orden o pedido	
<i>A</i>	Costo fijo de ordenamiento o alistamiento (\$/orden)	No aplica
<i>D</i>	Tasa de demanda del ítem (unidad de demanda/unidad de tiempo)	
<i>v</i>	Valor unitario del ítem (\$/unidad)	
<i>r</i>	Costo de mantener el inventario [(%/año ó \$/(\$ * año)]	
<i>L</i>	Lead time ó tiempo de reposición. Tiempo transcurrido entre la expedición de una orden y la disponibilidad del artículo para el cliente	
<i>s</i>	Punto de reorden o de pedido; el nivel de inventario efectivo para el cual debe emitirse una nueva orden	$s = (d \times L) + (k \times \sigma_L)$ $s = \hat{x}_L + IS = \hat{x}_L + k\sigma_L = \hat{x}_L + k\sigma_1\sqrt{L}$
<i>S</i>	Nivel máximo de inventario efectivo hasta el cual debe ordenarse	$S = \hat{x}_{R+L} + k\sigma_{R+L}$ $S = s + Q$
<i>R</i>	Intervalo o período de revisión del nivel de inventario efectivo	$R = \frac{EOQ}{D} = \frac{\sqrt{\frac{2AD}{vr}}}{D}$
<i>IS</i>	Inventario de seguridad. Es el inventario neto promedio justo antes de que llegue un pedido.	$IS = k\sigma_L = k\sigma_1\sqrt{L}$ [Sistema continuo ( <i>s</i> , <i>Q</i> )] $IS = k\sigma_{R+L} = k\sigma_1\sqrt{R+L}$ [Sistema periódico ( <i>R</i> , <i>S</i> )]

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	FÓRMULA MATEMÁTICA
$k$	Factor de seguridad dependiente del nivel de servicio deseado (bajo el supuesto de normalidad)	Se obtiene de las "tablas de las principales funciones de la distribución normal unitaria"
$P_1$	Nivel de servicio deseado (%) [Nivel de confianza]	Se fija de acuerdo con la probabilidad de "no tener un agotado en cada ciclo de reposición"
$p_z(k)$	Representa el riesgo de que haya faltantes teniendo en cuenta el nivel de servicio deseado (%)	$p_z(k) = 1 - P_1$
$\hat{X}_L$	Estimación de la demanda esperada (pronosticada) sobre el tiempo de reposición L	$\hat{x}_L = dL$
$\hat{X}_{R+L}$	Estimación de la demanda esperada (pronosticada) sobre un intervalo de tiempo igual a R+L	$\hat{x}_{R+L} = d \times (R + L)$
$\sigma_I$	Desviación estándar de los errores del pronóstico de la demanda	$\sigma_1 = 1,2533 \times MAD$ $\sigma_1 = \sqrt{ECM}$
$\sigma_L$	Desviación estándar de los errores del pronóstico de la demanda sobre el tiempo de reposición L	$\sigma_L = \sigma_1 \sqrt{L}$
$\sigma_{R+L}$	Desviación estándar de los errores del pronóstico de la demanda sobre un intervalo de tiempo igual a R+L	$\sigma_{R+L} = \sigma_1 \times \sqrt{R+L}$
$u$	Déficit o caída esperada por debajo del punto de reorden. (Modelo min-max para ítems con demanda errática- Adaptación del modelo s,S)	Se fija de acuerdo con los valores de demanda históricos

Fuente: adaptado de (Vidal Holguín, 2017)

## 1.2 Estado del Arte

La teoría de administración de inventarios ha sido ampliamente estudiada por diversos autores a lo largo del tiempo y con múltiples aplicaciones. Internacionalmente, Chia-Hung & Yabing (2019) presentan una investigación centrada en el uso de datos de concesionarios de General Motors para examinar la política de inventarios de automóviles y su impacto en la cadena de suministro partiendo de dos conceptos empíricos: una alta demanda produce altos niveles de inventario (efecto de ventas) y, niveles altos de inventario estimulan la demanda de ventas (efecto de estimulación de la demanda). Por otra parte, Izar Landeta, Ynzunza Cortés, & Guarneros García (2016) analizan los efectos que la variabilidad de la demanda del tiempo de entrega tiene sobre los inventarios de seguridad y el costo del inventario; se confirman resultados similares en dos productos con distribuciones diferentes (normal y uniforme) que indican que a mayor variación de la demanda se producen mayores inventarios de seguridad y se incrementan los costos.

Nacionalmente se han desarrollado algunos trabajos con aportes sobre el tema. Castro Zuluaga (2003) identifica la selección del modelo de gestión de inventarios como uno de los problemas más comunes en la industria, se enfoca en proponer un esquema que muestra todos los pasos a seguir para establecer el modelo de control de inventarios más apropiado cuando se trabaja con demanda determinística; considera todos los procedimientos necesarios para la selección del modelo como la clasificación ABC, el pronóstico de la demanda, la identificación de patrones de demanda, los inventarios de seguridad y la medición del error, y explica cada uno de los modelos aplicables para el caso específico de este tipo de demanda. El estudio de Causado Rodríguez (2015) tiene algunos aspectos comunes con los considerados en el presente artículo pero se enfoca en una comercializadora de alimentos; esta publicación presenta la propuesta de mejora del sistema de inventarios utilizando los artículos clasificados como tipo A y aplicando el modelo EOQ, el resultado obtenido comprueba las ventajas del modelo en cuanto a disminución de costos por faltantes. También llama la atención el trabajo de Pérez V., Cifuentes L., Vásquez G., & Ocampo (2012) en el cual se estableció la política de inventario bajo el modelo de revisión periódica R,S para una empresa de productos alimenticios; el modelo propuesto se sometió a prueba piloto de 6 semanas incrementando el nivel de servicio al cliente del 75% al 87,23% y mejorando las utilidades. Por último, el estudio de Pérez, Mosquera, & Bravo, (2012) presenta la evaluación de productos del sector de medicamentos en una cadena de suministro con una bodega y múltiples puntos de venta; la clasificación ABC se basó en la rotación total de los artículos en un sitio, se evaluaron diversos métodos de pronósticos por categorías y se presentaron los resultados de MAD, ECM y Coeficiente de variación en cada caso.

También en Colombia se han realizado trabajos que pueden aportar al desarrollo de este y otros proyectos. Cortés Hurtado & Morales Bejarano (2012) efectuaron el estudio de repuestos en una empresa manufacturera utilizando la metodología AHP para la clasificación ABC y, aplicando los métodos de Croston (demanda errática) y de suavización exponencial doble para el pronóstico, encontraron que la suavización exponencial doble dio un error mayor al de la simple; también se hizo la evaluación de los costos del inventario frente a las políticas propuestas por la empresa. Así mismo, Insuasty Peña (2014) utilizó también una técnica multicriterio para la clasificación de los artículos según su impacto; en esta evaluación se encontró que el método de pronóstico con mejores resultados para la demanda no errática fue el de suavización exponencial doble; se incluyó la valoración de costos para estudiar y definir el sistema de control del inventario; el estudio se efectuó en repuestos para cosechadoras en un ingeniero azucarero. Ordoñez Rodríguez & Rivera Madrid (2015) presentan una investigación para repuestos de lavadora y nevera, en este caso se realizó la clasificación ABC basándose en el valor anual de las ventas y tomando los 10 ítems de A, B y C de mayor impacto como muestra a estudiar (30 artículos en total), se propuso el pronóstico de demanda para cada artículo considerando el patrón, el CVD y el modelo de control de inventarios y se llevó a cabo la implementación práctica del modelo de control en la empresa utilizando el sistema de revisión periódica (R,S).

Finalmente, el trabajo de García Alarcón & Tamayo Rangel (2017) corresponde al estudio de repuestos en una tienda comercializadora ubicada en una estación de servicio; en este trabajo se utilizó una técnica multicriterio para la clasificación ABC usando familias de producto con tres criterios de selección y obteniendo 36 artículos para el análisis; se estudió la demanda durante un año para encontrar los patrones y se aplicaron tres métodos de pronóstico: Croston, suavización exponencial simple y suavización exponencial doble; se calcularon los costos relacionados con la gestión de inventarios y se propuso el modelo de control de revisión continua (s,Q).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA**

El diseño metodológico del trabajo se estructuró teniendo en cuenta los objetivos específicos y el orden coherente de las actividades realizadas considerando la dependencia existente entre ellas. La tabla 6 resume la metodología usada describiendo las actividades que se ejecutaron para cumplir con cada objetivo. Los datos para el desarrollo de la investigación se obtuvieron del sistema de información de la empresa y de la revisión de formatos, apuntes y registros del personal.

Tabla 6. Metodología

<b>Objetivo General: Diseñar el modelo de administración de los inventarios de baterías para los artículos tipo A en la empresa LRV</b>	
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificar los artículos utilizando la metodología ABC y seleccionar los artículos tipo A</li> </ul>	1) Recolección de información de referencias totales que se manejan (listado)
	2) Revisión de la demanda y del aporte en ventas de cada referencia para el período de estudio
	3) Ordenamiento de referencias de forma ascendente considerando el aporte en ventas
	4) Obtención de frecuencia relativa y frecuencia acumulada de los artículos
	5) Clasificación ABC de los artículos
	6) Selección de los artículos tipo A para el estudio propuesto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el patrón de demanda para los artículos seleccionados y proponer el modelo de pronóstico para cada uno</li> </ul>	1) Elaboración del gráfico Tiempo Vs. Demanda para cada artículo
	2) Cálculo del promedio, la desviación estándar y el CVD para cada artículo
	3) Análisis de resultados considerando el gráfico y el CVD obtenidos en cada caso
	4) Definición del patrón de demanda correspondiente para cada artículo
	5) Propuesta del modelo de pronóstico para cada artículo teniendo en cuenta el patrón de demanda y el CVD
	6) Simulación del modelo de pronóstico para cada artículo (excell) y elaboración del gráfico
	7) Cálculo de error del pronóstico: MAD y ECM
	8) Construcción de tabla final de datos por artículo para el modelo de pronóstico simulado
	9) Revisión y análisis de los resultados obtenidos para el pronóstico
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proponer para cada artículo el sistema de control y definir las políticas de inventario</li> </ul>	1) Clasificación de los artículos según el tipo de demanda (determinística y probabilística)
	2) Análisis y propuesta de modelo de control de inventarios para cada artículo según demanda y con orientaciones de la empresa
	3) Aplicación de modelo EOQ-demanda determinística
	5) Aplicación de modelo de Demanda Variante con el Tiempo con uso de EOQ-demanda determinística, y selección del esquema de pedido para cada artículo
	6) Aplicación de modelo de revisión continua (s, Q)-demanda probabilística
	7) Aplicación de modelo de revisión continua (s, S)-demanda probabilística
	8) Aplicación de modelo de revisión periódica (R, S)-demanda probabilística
	9) Aplicación de modelo de revisión híbrido (R, s, S)-demanda probabilística
	10) Aplicación de modelo de revisión continua (s, S)-adaptación de min-max para artículos con demanda errática
	11) Construcción de tabla final de sistemas de control propuestos y política de inventarios.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La empresa LRV maneja la importancia de los artículos por su volumen de venta en unidades sin embargo se presentan agotados con regularidad; no se han definido métodos de pronóstico ni sistemas de control de inventarios y la planeación se basa exclusivamente en el conocimiento de la administración y en las posibilidades de ahorro por volúmenes de pedido. A continuación se agrupa la presentación de los resultados de esta investigación así como la discusión de algunos aspectos relevantes en el desarrollo del trabajo.

#### 3.1 Clasificación ABC de artículos

Los resultados de la clasificación ABC se presentan en la tabla 7, se aplicó el principio de Pareto (80/20) y se revisó la participación individual y acumulada de los artículos en las ventas totales de la empresa, con esta técnica se encontró que del total de 57 referencias el 22,8% son tipo A y aportan el 62% de los ingresos totales de la empresa. Los 13 artículos presentados en la tabla fueron seleccionados para continuar con la investigación usando como período de estudio la información mensual de demanda del año 2018 y la del primer cuatrimestre del año 2019.

Tabla 7. Clasificación ABC de artículos – Ventas totales

Clasificación ABC-Ventas totales (\$)				Clasificación ABC-Ventas totales (\$)			
TIPO	Cantidad	Cant. Items (%)	Frecuencia Total (%)	No.	Referencia	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia Acumulada (%)
A	13	22,8	62,0	1	42ISTV4780	9,4	9,4
B	16	28,1	25,0	2	42ISTV3670	7,2	16,6
C	28	49,1	13,0	3	30HV41200	6,8	23,4
	57	100,0	100,0	4	NS40LV3540	5,8	29,2
				5	4DV31350	4,5	33,7
				6	27V41080	4,4	38,1
				7	48ISTV4870	4,4	42,5
				8	31TV41200	4,2	46,7
				9	34RSTV41000	3,2	49,9
				10	L2V4870	3,2	53,1
				11	36ISTV4680	3,1	56,2
				12	48ISTV3760	3,0	59,2
				13	34STV41000	2,8	62,0

#### 3.2 Definición de patrones y modelos de pronóstico

La tendencia del gráfico Tiempo Vs. Demanda para cada artículo y los resultados del CVD permitieron definir los patrones que se presentan en la tabla 8 y proponer la simulación en Excel de dos métodos de pronóstico en cada caso. De acuerdo con Gálvez (2016) el ECM es una de las medidas más recomendadas para seleccionar el mejor método de pronóstico por tener mayor efectividad, por lo anterior, aunque se efectuaron dos medidas de error (MAD y ECM) se utilizó el criterio del menor ECM para escoger el método de pronóstico más apropiado para la continuación del estudio.

Se comprobó que para el patrón de tendencia el método de regresión lineal simple arroja en todos los casos mejor ECM que el de suavización exponencial doble. En cuanto a patrones de demanda perpetua se notó que tienen un menor valor de ECM con la suavización exponencial simple frente al promedio móvil, con excepción del artículo 3 que se comportó mejor con el promedio móvil, esto puede obedecer al valor óptimo escogido para N=10. Los dos artículos con

patrones combinados entre periódico y tendencia presentaron resultados diferentes ya que mientras el ítem 7 presentó menor ECM con la suavización exponencial doble el ítem 10 lo hizo con Holt-Winters, es posible que esto sea un efecto del menor valor de CVD y mejor definición de períodos estacionales del ítem 10 frente a una menor visualización de estacionalidad en el ítem 7 (Prajakta S., 2004). Para el ítem 5 no se aplicó pronóstico debido a su comportamiento errático y se determinó manejarlo con sistema min-max adaptado para el control de inventarios.

El método de promedio móvil requirió definir el mejor valor de N variando éste entre 6 y 12 y escogiendo el que presentó menor valor de ECM (Vidal Holguín, 2017). Los métodos de suavización (simple y doble) exigieron la fijación del valor de la constante  $\alpha$  que se estableció entre 0,01 y 0,30, mientras que el método Holt-Winters requirió la determinación de las constantes  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  fijándolas entre 0 y 1; en todos los casos estos valores se optimizaron con la opción de Solver en Excel (Vidal Holguín, 2017). La tabla 3 muestra la formulación matemática utilizada en el desarrollo de cada método de pronóstico.

**Tabla 8. Resumen de patrones y resultados de pronóstico**

No.	Referencia	CVD	Patrón de Demanda (confirmado con el gráfico)	Resultados de pronóstico-Simulación				
				Método	Promedio Error		Desv.Est. Error	
					MAD	ECM	1,25*MAD	$\sqrt{ECM}$
1	42ISTV4780	0,45	Tendencia creciente	Regresión Lineal Simple	15,95	328,51	19,99	18,12
				Suavización Exponencial Doble	15,90	420,81	19,93	20,51
2	42ISTV3670	0,32	Perpetua, estable o uniforme	Promedio Móvil (N=10)	30,70	1.004,77	38,48	31,70
				Suavización Exponencial Simple	27,36	907,60	34,29	30,13
3	30HV41200	0,28	Perpetua, estable o uniforme	Promedio Móvil (N=12)	7,04	59,97	8,83	7,74
				Suavización Exponencial Simple	9,52	152,85	11,93	12,36
4	NS40LV3540	0,31	Perpetua, estable o uniforme	Promedio Móvil (N=6)	19,48	521,75	24,42	22,84
				Suavización Exponencial Simple	19,26	512,34	24,13	22,63
5	4DV31350	0,91	Errática	No se aplica pronóstico. Se manejará con sistema min-max para erráticos		NO APLICA		
6	27V41080	0,35	Perpetua, estable o uniforme	Promedio Móvil (N=12)	12,13	150,30	15,20	12,26
				Suavización Exponencial Simple	10,66	139,32	13,37	11,80
7	48ISTV4870	0,52	Combinación de periódico o estacional con tendencia creciente	Holt-Winters	17,41	375,37	21,82	19,37
				Suavización Exponencial Doble	13,25	268,68	16,61	16,39
8	31TV41200	0,52	Tendencia decreciente	Regresión Lineal Simple	8,35	96,09	10,47	9,80
				Suavización Exponencial Doble	10,87	190,35	13,62	13,80
9	34RSTV41000	0,39	Tendencia creciente	Regresión Lineal Simple	3,04	14,04	3,81	3,75
				Suavización Exponencial Doble	3,93	22,39	4,93	4,73
10	L2V4870	0,45	Combinación de periódico o estacional con tendencia creciente	Holt-Winters	10,65	142,48	13,35	11,94
				Suavización Exponencial Doble	12,32	188,70	15,45	13,74
11	36ISTV4680	0,69	Tendencia creciente	Regresión Lineal Simple	8,59	151,61	10,77	12,31
				Suavización Exponencial Doble	9,07	234,51	11,36	15,31
12	48ISTV3760	0,41	Tendencia decreciente	Regresión Lineal Simple	7,70	76,48	9,65	8,75
				Suavización Exponencial Doble	10,16	131,93	12,73	11,49
13	34STV41000	0,32	Perpetua, estable o uniforme	Promedio Móvil (N=6)	4,57	29,06	5,72	5,39
				Suavización Exponencial Simple	4,58	27,87	5,74	5,28

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran a manera de ejemplo los gráficos de demanda y pronóstico que se obtuvieron para los ítems 1, 2, 5 y 7 respectivamente de acuerdo con el patrón identificado.

Figura 1. Demanda y pronóstico del Ítem 1 (tendencia)

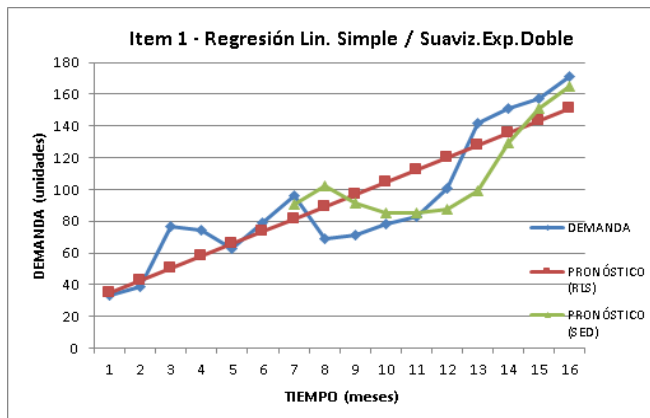


Figura 2. Demanda y pronóstico del Ítem 2 (perpetua)

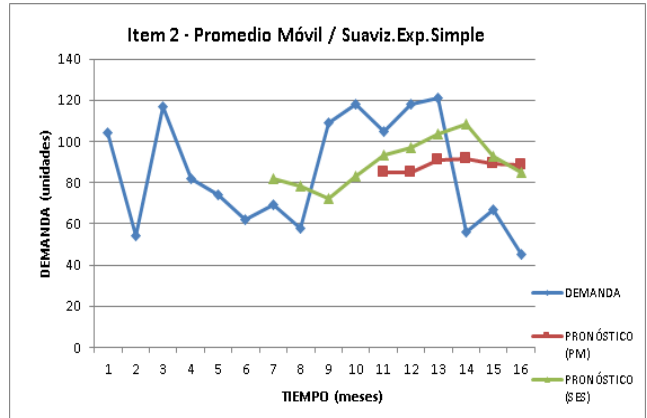


Figura 3. Demanda y pronóstico del Ítem 5 (errática)

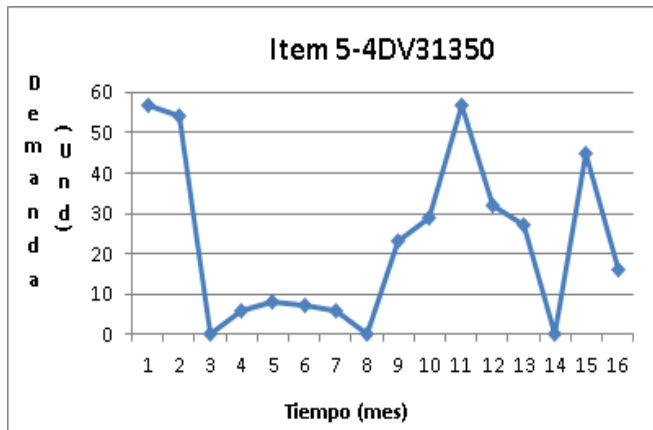
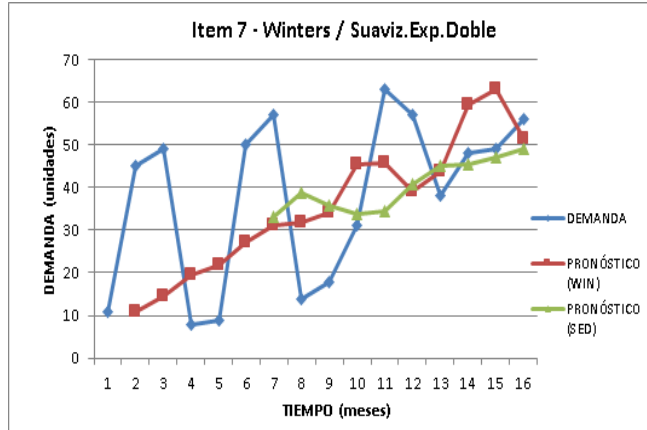


Figura 4. Demanda y pronóstico del Ítem 7 (estacional+tend.)



### 3.3 Sistemas de control y política de inventario

Se realizó la clasificación de los artículos según el tipo de demanda, la teoría establece que la demanda determinística se identifica con  $CVD \leq 0.3$  y la probabilística con  $CVD > 0.3$  (Vidal Holguín, 2017). Se evidenció que el ítem 3 corresponde a demanda determinística, y que los ítems 2, 4 y 13 también se pueden considerar de este tipo de demanda a pesar de que el CVD está un poco por encima de 0.3, todos estos ítems presentaron patrones perpetuos; los ítems restantes se clasificaron con demanda probabilística.

La tabla 9 muestra el modelo de control definido para cada uno de los cuatro ítems con demanda determinística. El ítem 3 por presentar el menor CVD se trabajó con el modelo EOQ (demanda constante), los otros tres ítems se estudiaron bajo el modelo de Uso de EOQ (con demanda variante) y fue necesario estimar los costos de ordenar y mantener el inventario para definir el esquema de pedido más favorable, la tabla 10 presenta estos costos totales y justifica la selección del esquema asociado a cada modelo. Los modelos determinísticos asumen  $L=0$  (lead time) y llegada de los pedidos al inicio de período en que se requieren, exigen revisión continua (Vidal Holguín, 2017).

Los ítems restantes clasificados con demanda probabilística se dividieron en dos grupos, los de revisión continua que se presentan en la tabla 11 y los de revisión periódica en la tabla 12. Para esta división y para la asignación del modelo de

control se tuvo en cuenta el CVD y algunas orientaciones y consensos hechos con la administración de la empresa y basados en: el volumen de venta del artículo, su costo unitario, posibilidad de negociación de volúmenes con proveedor y clientes, acuerdos comerciales, costos de administración, nivel de servicio, etc. Los modelos probabilísticos se trabajan con  $L=$ constante (5 días en este trabajo), utilizan el error del pronóstico para calcular el inventario de seguridad y requieren la decisión de un nivel de servicio (97% en este caso) (Vidal Holguín, 2017). A pesar de que se realizaron los cálculos tal como los describe la teoría es importante para los artículos de revisión periódica verificar el parámetro R obtenido; en la práctica no es muy aplicable manejar intervalos de revisión de inventario tan amplios (66 a 83 días) por lo que se podría considerar fijar R en un valor adecuado para la empresa (entre 5 y 15 días) en vez de calcularlo por fórmula. El ítem 5 que presentó comportamiento errático se trabajo con modificación del modelo continuo (s,S) min-max adicionando el factor de caída “u” en el cálculo del punto de reorden.

La mayor parte de los cálculos requeridos en esta etapa se describieron en la tabla 5. El esquema general usado para definir la política de inventarios de cada artículo utilizó los resultados obtenidos respondiendo a las preguntas ¿con qué frecuencia debe revisarse el inventario?, ¿cuándo debe ordenarse o pedirse?, y, ¿qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?.

**Tabla 9. Sistema de control de inventarios-demanda determinística**

Ítem	Referencia	CVD	Descripción	Sistema de Control			
				Modelo	Parámetros		Política
2	42ISTV3670	0,32	Demanda variante con el tiempo pero conocida	USO DE EOQ- Pedido para un No. Entero de períodos redondeado a partir del EOQ	L (días)	0	Revisar el inventario continuamente. Al inicio del periodo en el cual se requiere ordenar (esto será cada dos meses), se debe generar una orden por la cantidad necesaria para dos meses de demanda.
					EOQ (und)	143	
					T <sub>EOQ</sub> (días)	51	
3	30HV41200	0,28	Demanda constante y conocida	MODELO EOQ	L (días)	0	Revisar el inventario continuamente. Cuando el nivel del inventario llegue a 0 (esto será aproximadamente cada 54 días), se debe generar una orden por 77 unidades.
					EOQ (und)	77	
					T <sub>EOQ</sub> (días)	54	
4	NS40LV3540	0,31	Demanda variante con el tiempo pero conocida	USO DE EOQ- Pedido para un No. Entero de períodos redondeado a partir del EOQ	L (días)	0	Revisar el inventario continuamente. Al inicio del periodo en el cual se requiere ordenar (esto será cada dos meses), se debe generar una orden por la cantidad necesaria para dos meses de demanda.
					EOQ (und)	167	
					T <sub>EOQ</sub> (días)	54	
13	34STV41000	0,32	Demanda variante con el tiempo pero conocida	USO DE EOQ- Pedido para períodos enteros con demanda aproximada al EOQ	L (días)	0	Revisar el inventario continuamente. Al inicio del periodo en el cual se requiere ordenar, se debe generar una orden por la cantidad necesaria para los meses de demanda definidos según el modelo planeado.
					EOQ (und)	54	
					T <sub>EOQ</sub> (días)	86	

**Tabla 10. Costos Totales de preparar y llevar el inventario-demanda determinística**

Ítem	Referencia	Esquema de pedido	Costos Totales Prep.+ Llevar (\$)	Inventario Promedio (und)	Rotación (veces x año)
2	42ISTV3670	Política de dos meses de pedido	3.359.002	37,1	27,5
		Política de pedido de lote por lote (mes x mes)	4.160.000	0	indefinida
		Política de pedido para períodos enteros con demanda aproximada al EOQ	3.664.499	23,3	43,7
		Política de pedidos iguales al EOQ	4.797.813	63,7	16,0
		Política de pedido de un No. Entero de períodos redondeado a partir del EOQ	3.359.002	37,1	27,5
4	NS40LV3540	Política de dos meses de pedido	3.366.250	46,9	23,5
		Política de pedido de lote por lote (mes x mes)	4.160.000	0	indefinida
		Política de pedido para períodos enteros con demanda aproximada al EOQ	3.372.430	37,6	29,3
		Política de pedidos iguales al EOQ	3.926.375	57,8	19,1
		Política de pedido de un No. Entero de períodos redondeado a partir del EOQ	3.366.250	46,9	23,5
13	34STV41000	Política de dos meses de pedido	2.602.479	9,7	23,1
		Política de pedido de lote por lote (mes x mes)	4.160.000	0	indefinida
		Política de pedido para períodos enteros con demanda aproximada al EOQ	2.200.013	16,7	13,4
		Política de pedidos iguales al EOQ	2.817.321	23,3	9,6
		Política de pedido de un No. Entero de períodos redondeado a partir del EOQ	2.456.642	16,6	13,5

**Tabla 11. Sistema de control de inventarios-demanda probabilística (revisión continua)**

Ítem	Referencia	CVD	Descripción	Sistema de Control			
				Modelo	Parámetros	Política	
1	42ISTV4780	0,45	Revisión Continua	$s, Q$	L (días)	5	Revisar el inventario cada vez que ocurre una transacción. Se debe ordenar $Q=142$ unidades una vez el nivel de inventario efectivo sea igual o menor a $s=29$ unidades.
					s (und)	29	
					Q (und)	142	
					IS (und)	14	
5	4DV31350	0,91	Revisión Continua	$s, S$ (adaptación min-max para ítems con demanda errática)	L (días)	5	Revisar continuamente el inventario. Cuando el inventario efectivo llegue al punto de reorden $s=26$ unidades, entonces se ordena una cantidad igual al inventario máximo $S=69$ unidades menos el inventario efectivo al momento de la revisión.
					s (und)	26	
					Q (und)	49	
					S (und)	69	
					IS (und)	16	
6	27V41080	0,35	Revisión Continua	$s, S$	L (días)	5	Revisar el inventario cada vez que ocurre una transacción. Cada vez que el inventario efectivo sea igual o menor a $s=14$ unidades se debe ordenar la cantidad necesaria para que el inventario se incremente hasta el valor máximo $S=80$ unidades, es decir, se debe ordenar una cantidad igual a la diferencia entre $S=80$ unidades y el valor del inventario efectivo en el momento de la revisión.
					s (und)	14	
					Q (und)	66	
					S (und)	80	
					IS (und)	9	

Tabla 12. Sistema de control de inventarios-demanda probabilística (revisión periódica)

Ítem	Referencia	CVD	Descripción	Sistema de Control			
				Modelo	Parámetros	Política	
7	48ISTV4870	0,52	Revisión Periódica	R, S	L (días)	5	Revisar el inventario cada R=66 días y ordenar (en ese momento) una cantidad igual a 144 unidades (S) menos el inventario efectivo al momento de la revisión.
					R (días)	66	
					S (und)	144	
					Q (und)	83	
					IS (und)	48	
8	31TV41200	0,52	Revisión Periódica	R, s, S	L (días)	5	Revisar el inventario cada R=70 días y ordenar la diferencia entre S=149 unidades y el inventario efectivo, siempre y cuando éste sea menor o igual a s=91 unidades. Si al momento de la revisión el inventario efectivo es >91, se debe esperar hasta la próxima revisión R=70 días para decidir si se ordena.
					R (días)	70	
					s (und)	91	
					S (und)	149	
					Q (und)	58	
					IS (und)	29	
9	34RSTV41000	0,39	Revisión Periódica	R, s, S	L (días)	5	Revisar el inventario cada R=80 días y ordenar la diferencia entre S=132 unidades y el inventario efectivo, siempre y cuando éste sea menor o igual a s=74 unidades. Si al momento de la revisión el inventario efectivo es >74, se debe esperar hasta la próxima revisión R=80 días para decidir si se ordena.
					R (días)	80	
					s (und)	74	
					S (und)	132	
					Q (und)	58	
					IS (und)	12	
10	L2V4870	0,45	Revisión Periódica	R, S	L (días)	5	Revisar el inventario cada R=83 días y ordenar (en ese momento) una cantidad igual a 121 unidades (S) menos el inventario efectivo al momento de la revisión.
					R (días)	83	
					S (und)	121	
					Q (und)	75	
					IS (und)	44	
11	36ISTV4680	0,69	Revisión Periódica	R, S	L (días)	5	Revisar el inventario cada R=82 días y ordenar (en ese momento) una cantidad igual a 135 unidades (S) menos el inventario efectivo al momento de la revisión.
					R (días)	82	
					S (und)	135	
					Q (und)	90	
					IS (und)	40	
12	48ISTV3760	0,41	Revisión Periódica	R, S	L (días)	5	Revisar el inventario cada R=79 días y ordenar (en ese momento) una cantidad igual a 115 unidades (S) menos el inventario efectivo al momento de la revisión.
					R (días)	79	
					S (und)	115	
					Q (und)	83	
					IS (und)	28	

#### 4. CONCLUSIONES

La clasificación ABC aplicada sobre las ventas totales es un buen método para identificar los artículos de mayor impacto en el inventario y mostró que el 22,8% de los ítems aportan el 62% de las ventas totales. Sin embargo, el uso de un solo criterio para esta selección puede traer desventajas para la empresa ya que se omiten otros criterios que se vuelven determinantes, aplicar una técnica multicriterio que pondere otros aspectos podría ser muy beneficioso en esta selección. La actualización periódica (por lo menos anual) de la clasificación ABC puede contribuir a la correcta identificación de los artículos de mayor impacto.

El análisis de patrones de demanda debe considerar la revisión con un mayor número de datos históricos de tal manera que se pueda tener seguridad sobre el patrón del artículo. Los patrones combinados son difíciles de abordar en un pronóstico, no es clara la tendencia de la demanda y esto no permite definir con precisión el método de pronóstico más adecuado. Los patrones de tendencia tienen en el método de regresión lineal simple el mejor resultado, mientras que los patrones de demanda perpetua encuentran muy buenos resultados en la suavización exponencial simple y en el promedio móvil con  $N=10$  ó  $N=12$ . No siempre el método de pronóstico más complejo es el más acertado, muchas veces los sistemas de pronóstico sencillos ofrecen resultados satisfactorios y los procesos de colaboración siempre serán útiles para corroborar la información de los pronósticos.

El aspecto técnico y cuantitativo de la gestión de inventarios no es el único que se debe considerar, la definición de cualquier sistema de control de inventarios requiere el conocimiento y trabajo de todo un equipo. Utilizar diversos sistemas de control puede traer dificultades operativas, se requiere someter a prueba piloto los modelos de control definidos, validar las políticas de inventario y, analizar nuevamente los valores definidos para R puesto que se perciben muy elevados a nivel práctico.

Aunque todos los casos de demanda determinística se tratan en este trabajo con EOQ, en la realidad puede presentarse esta demanda pero con una variación significativa con el tiempo. El control en estos casos se puede abordar con dos opciones: el uso de un modelo matemático ya establecido, o el uso de un método aproximado o heurístico. Con la primera alternativa se obtienen soluciones óptimas que pueden considerar algunos costos asociados con los inventarios; con la segunda se obtiene una buena solución con un manejo simple y fácil de comprender.

Los métodos de control de inventario aplicados a cada ítem de forma particular en este desarrollo, tienen la dificultad de requerir mayor dedicación administrativa y logística. Dado que se tiene un único proveedor para el artículo estudiado (baterías automotrices) y se utiliza un mismo modo de transporte es muy viable el uso del control conjunto de ítems. Un efecto práctico de este método es la definición de parámetros comunes para varios ítems, por ejemplo definir un mismo intervalo de revisión (R) para varios ítems. Este método ofrece ventajas económicas por ahorros o descuentos por volumen, economías en transporte, y facilidad de planeación y revisión del inventario, sin embargo, requiere mayor cuidado con el incremento del nivel de inventario promedio que podría darse, así como el aumento en los costos de control.

La ejecución de este trabajo guía las posibilidades de estudio para otras empresas que tengan situaciones similares al servir como marco de referencia. Igualmente abre opciones para investigaciones futuras entre las que se pueden considerar: a nivel de clasificación ABC la ampliación de la metodología que en este trabajo se limitó a los artículos tipo A, además de la inclusión de métodos de control para artículos tipo B y tipo C; a nivel de pronósticos el uso de señales de rastreo y la utilización de combinaciones de pronósticos en lugar de métodos individuales, y, a nivel de sistemas de control la determinación simultánea de parámetros de control en algunos sistemas, y el uso de un sistema min-max de reabastecimiento conjunto. Como en todo lo relacionado con inventarios, el equilibrio se convierte en la meta deseada.

## REFERENCIAS

- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro* (5a ed.). México: Pearson Educación.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. (2007). *Administración y Logística en la Cadena de Suministros* (2a ed.). México D.F.: McGraw Hill.
- Castro Zuluaga, C. A. (2003). Una Estructura para la Selección de Modelos de Gestión de Inventarios de Artículos Individuales cuando la Demanda es Determinística. *Tecnura*, 83-93.
- Causado Rodríguez, E. (julio-diciembre de 2015). Modelo de inventarios para control económico de pedidos en empresa comercializadora de alimentos. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 163.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2007). *Administración de la Producción y Operaciones para una Ventaja Competitiva* (10a ed.). México, d.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Chia-Hung, C., & Yabing, Z. (2019). Demand stimulation in finished-goods inventory management: Empirical evidence from General Motors dealerships. *ELSEVIER. International Journal of Production Economics*, 208-220.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la Cadena de Suministro* (3a ed.). México: Pearson Educación.
- Cortés Hurtado, B. E., & Morales Bejarano, L. V. (2012). Diseño de un Sistema de Control de Inventarios de Repuestos en una Empresa Manufacturera de la Ciudad de Cali. *Trabajo de grado para optar al título de ingeniería industrial*. Cali, Valle, Colombia: Universidad del Valle. Facultad de ingeniería.
- Gálvez, T. (9 de Agosto de 2016). *¿Cómo medir la precisión de los pronósticos?* Obtenido de Demand Planner Academy: <https://es.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-medir-la-precisi%C3%B3n-de-los-pron%C3%B3sticos-tom%C3%A1s-g%C3%A1lvez>
- García Alarcón, I. D., & Tamayo Rangel, J. E. (2017). Modelo de control y gestión de inventarios para una tienda comercializadora de repuestos ubicada en una estación de servicio en el norte del valle del cauca. *Trabajo de grado para optar al título de ingeniería industrial*. Zarzal, Valle, Colombia: Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería Sede Zarzal.
- Insuasty Peña, A. F. (2014). Diseño de un Sistema de Control de Inventarios de Repuestos para Cosechadoras en un Ingenio Azucarero del Valle del Cauca. *Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería Industrial*. Cali, Valle, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería.
- Izar Landeta, J. M., Ynzunza Cortés, C. B., & Guarneros García, O. (2016). Variabilidad de la demanda del tiempo de entrega, existencias de seguridad y costo del inventario. *Contaduría y administración. UNAM*, 499-513.
- Montgomery, D. C., Johnson, L. A., & Gardiner, J. S. (1990). *Forecasting & Time Series Analysis* (2a ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ordoñez Rodríguez, C. A., & Rivera Madrid, M. A. (2015). Diseño de un Sistema de Control de Inventarios de Repuestos de Lavadora y Nevera en Central de Repuestos y Servicios Whirlpool. *Trabajo de grado para optar al título de ingeniería industrial*. Cali, Valle, Colombia: Universidad San Buenaventura. Facultad de Ingeniería.
- Pérez Vergara, I., Cifuentes Laguna, A. M., Vásquez García, C., & Ocampo, D. M. (mayo-agosto de 2012). Un modelo de gestión de inventarios para una empresa de productos alimenticios. *Ingeniería Industrial. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría*, XXXIII(2), 227-236.
- Pérez, R. A., Mosquera, S. A., & Bravo, J. J. (julio-diciembre de 2012). Aplicación de Modelos de Pronósticos en Productos de Consumo Masivo. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 10(2), 117-125.
- Prajakta S., K. (6 de Diciembre de 2004). Time series Forecasting using Holt-Winters Exponential Smoothing. *Kanwal Rekhi School of Information Technology*.

- Silver, E., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains* (4a ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Vásquez, E. R., & Caballero, N. A. (julio-septiembre de 2011). Inconsistencia del Coeficiente de Variación para Expresar la Variabilidad de un Experimento en un Modelo de Análisis de Varianza. (I. N. Agrícolas, Ed.) *Cultivos Tropicales*, 32(3), 59-62.
- Vidal Holguín, C. J. (2017). *Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios* (Digital ed.). Cali, Colombia: Programa editorial Universidad del Valle.