

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

A lo largo de este capítulo se explican los conceptos básicos que se debieron tener y considerar para la elaboración de la clasificación de materias primas, los modelos de pronósticos y los modelos de inventarios desarrollados en este proyecto.

3.1 Clasificación de materia prima

Debido a la gran cantidad de materias primas empleadas en muchas plantas de manufactura, siempre resulta útil realizar una clasificación para separar aquellas que requieren un control preciso de aquellas que pueden ser controladas con menos precisión.

Una de las maneras más comunes para clasificar materiales es el método ABC, que está basado en el principio de Pareto, donde un número pequeño de artículos representa la mayor parte del valor del inventario¹. Como su nombre lo sugiere, este método clasifica los materiales en tres categorías que son la A, B y C, donde:

Los artículos A representan únicamente el 20% de los materiales en inventario y alrededor del 75% del valor total del inventario.

Los artículos B representan el 30% de los materiales en inventario y el 20% del valor del inventario.

Los artículos C representan el 50% de los materiales en inventario y únicamente el 5% del valor del inventario.

Estos porcentajes son los más usados, sin embargo pueden variar de acuerdo a las características de los artículos o las necesidades de la empresa.

¹ Guía APICS. *Basics of Supply Chain Management*. p.8-7.

El procedimiento general para llevar a cabo la clasificación ABC de artículos es: a) establecer las características de los artículos que influirán en el control de los inventarios (volumen de uso o venta, valor de venta, valor de inventario, cualquier otro que la empresa considere adecuado); b) clasificar los artículos según los criterios establecidos por la empresa y; c) aplicar el nivel de control de acuerdo a la clasificación de los artículos.

Tabla 3.1 Comparación categorías A, B y C²

Categoría	Nivel de control	Tipo de registros	Tamaño de lote	Frecuencia de revisión	Tamaño de lote de seguridad
A	Estricto	Exactos y completos	Pequeño	Continua	Pequeño
B	Moderado	Buenos	Mediano	Ocasional	Moderado
C	Bajo	Simples	Grande	Esporádica	Grande

3.2 Series de tiempo

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones ordenadas de una variable durante periodos de tiempo sucesivos e iguales³. El primero y el más importante de los pasos en el análisis de una serie de tiempo y en el consecuente desarrollo de un modelo de pronóstico es la recolección de datos confiables y válidos. La exactitud y validez del análisis de las series de tiempo y de los pronósticos depende de la calidad y veracidad de nuestros datos.

En las series de tiempo se estudia como una variable cambia a través del tiempo para identificar la relación entre éstos y poder predecir comportamientos en el futuro. Los datos históricos se analizan y se descomponen para identificar los componentes que influyen la variable a pronosticar.

² Tersine, Richard. *Principles of Inventory and Materials Management*. p. 514.

³ Gaynor, Patricia. *Introduction to time-series modeling and forecasting in business and economics*.

3.2.1 Componentes de las series de tiempo

Los datos de las series de tiempo generalmente consisten de una combinación de uno o más de los siguientes componentes:

Tendencia. Es un movimiento lineal ascendente o descendente de los datos a lo largo de un periodo de tiempo grande. Identifica la tasa de crecimiento o descenso de una serie a través del tiempo.

Estacionalidad. Las variaciones estacionales consisten en movimientos recurrentes por encima y por debajo de la línea de tendencia y su patrón se repite año con año.

Ciclicidad. Son las variaciones oscilatorias alrededor de la línea de tendencia que ocurren durante largos periodos de tiempo.

Variaciones aleatorias. También conocidas como ruido, son las variaciones que no tienen patrones definidos y sus causas no son identificables. Están presentes en todas las series de tiempo y sus efectos forman parte de las desviaciones no explicadas de los datos.

3.3 Pronósticos

Un pronóstico es la estimación del valor de una variable o conjunto de variables en algún punto futuro en el tiempo⁴. Pronosticar es el primer paso para la planeación dentro de las empresas y les permite prepararse anticipadamente para tomar los mejores cursos de acción. El propósito de los pronósticos es hacer el mejor uso de la información que se tiene actualmente para guiar las actividades de la empresa hacia el cumplimiento de sus objetivos y metas. De esta forma, los pronósticos son particularmente importantes en la asignación y uso de los recursos de la empresa.

⁴ <http://mscmga.ms.ic.ac.uk/jeb/or/forecast.html>

3.3.1 Regresión lineal

También conocida como método de mínimos cuadrados, consiste en encontrar la ecuación de una recta que mejor se ajuste a un conjunto de puntos (datos)⁵. La regresión lineal nos permite identificar el grado de correlación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. El criterio de este método es usar la recta ($Y = a + bX$) cuya suma de los cuadrados de los errores sea mínima. Las fórmulas y la definición de las variables para el desarrollo de la regresión lineal son las siguientes:

$$Y = a + bX$$

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \qquad b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

donde:

x = valores de la variable independiente

y = valores de la variable dependiente

n = número de observaciones

a = intersección en el eje vertical

b = pendiente de la línea de regresión

Y = valores de y que caen en la línea de tendencia $Y = a + bX$

X = valores de x que caen en la línea de tendencia

3.3.2 Series de tiempo con estacionalidad

Este método es útil para desarrollar un pronóstico mediante regresión lineal cuando el componente de estacionalidad está presente en la serie de tiempo. Los pasos para llevar a cabo este modelo son los siguientes:

1. Seleccionar el conjunto de datos a analizar.
2. Calcular el índice estacional para cada periodo. Estos índices se calculan dividiendo el promedio de todos los periodos iguales (los meses de enero de cada año, y así

⁵ <http://www.elosiodelosantos.com/regresionlineal.html>

sucesivamente) entre el promedio de todos estos periodos. Los índices para cada periodo se repetirán años con año.

3. Usar los índices estacionales para desestacionalizar los datos, es decir, eliminar los patrones estacionales.
4. Realizar una regresión lineal a los datos desestacionalizados. Esto resultara en una ecuación de la forma $Y = a + bX$.
5. Usar la ecuación de la regresión para pronosticar los valores de cada periodo.
6. Usar los índices estacionales para volver a aplicar los patrones estacionales a los pronósticos.

3.3.3 Suavizamiento exponencial simple

La característica principal de este método es dar (exponencialmente) mayor peso a las observaciones más recientes en el pronóstico que a las más antiguas. Para este método se toma en cuenta una constante de suavizamiento (α) que será determinada o estimada para asignar el peso a las observaciones. El pronóstico entonces, estará formado por la suma del pronóstico anterior más una porción (α) del error del pronóstico $(A_{t-1}-F_{t-1})$ ⁶. La ecuación y la definición de variables para este método son las siguientes:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$$

donde:

F_t = pronóstico del periodo actual (para el primer periodo será igual valor real de A)

F_{t-1} = pronóstico del periodo anterior

A_{t-1} = valor de la observación del periodo anterior

α = constante de suavizamiento ($0 < \alpha \leq 1$)

⁶ Luna, Dolores. *Apuntes del curso Planeación y control de la producción.*

3.3.4 Suavizamiento exponencial doble

El suavizamiento exponencial doble también es conocido como método de Holt y su característica es que incorpora el componente de tendencia. Se llama suavizamiento exponencial doble ya que tanto la estimación del promedio de los errores como la estimación de la tendencia son suavizadas⁷. La constante de suavizamiento α seguirá siendo para el promedio, mientras que β , será la constante de suavizamiento para la tendencia. Las fórmulas y la definición de variables para el desarrollo de este método se describen en seguida:

$$FT_t = S_{t-1} + T_{t-1}$$

$$S_t = FT_t + \alpha(A_t - FT_t) \qquad T_t = T_{t-1} + \beta(FT_t - FT_{t-1} - T_{t-1})$$

donde:

FT_t = pronóstico con tendencia en el periodo t

S_t = promedio del pronóstico en el periodo t

T_t = estimación de la tendencia en el periodo t

A_t = valor de la observación en el periodo t

α = constante de suavizamiento para el promedio ($0 < \alpha \leq 1$)

β = constante de suavizamiento para la tendencia ($0 < \alpha \leq 1$)

Para poder comenzar con este método se deben suponer los siguientes valores iniciales:

$$S_{\text{primer periodo}} = A_{\text{primer periodo}}$$

$$T_{\text{primer periodo}} = A_{\text{segundo periodo}} - A_{\text{primer periodo}}$$

$$E_{\text{primer periodo}} = 0$$

3.3.5 Suavizamiento exponencial de Winters

Este método es una variante del anterior, cuya única diferencia es que ahora incluye una nueva constante de suavizamiento para la estacionalidad. Para desarrollar este modelo, entonces se requieren tres constantes de suavizamiento: α para el promedio, β para la

⁷ Gaither, Norman. *Operations management*.

tendencia y γ para el nuevo componente de estacionalidad. Las ecuaciones que describen el modelo, así como la definición de las variables son las siguientes:

$$F_{t+m} = (S_t + T_t m) I_{t-L+m}$$

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-1}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$I_t = \gamma \frac{X_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-1}$$

donde:

L = número de periodos en un patrón estacional (patrón mensual L=12, trimestral L=4, etc)

m = cuántos periodos adelante se quiere pronosticar

F_{t+m} = pronóstico con tendencia y estacionalidad del periodo actual más número de periodos anteriores que se desea pronosticar

S_t = promedio del pronóstico en el periodo t

T_t = estimación de la tendencia en el periodo t

I_t = estimación de la ciclicidad en el periodo t

α = constante de suavizamiento para el promedio ($0 < \alpha \leq 1$)

β = constante de suavizamiento para la tendencia ($0 < \alpha \leq 1$)

γ = constante de suavizamiento para la ciclicidad ($0 < \alpha \leq 1$)

Para poder comenzar con este método se deben suponer los siguientes valores iniciales:

$S_{\text{primer periodo}} = X'_{\text{primer periodo}}$ (x sin estacionar)

$T_{\text{primer periodo}} = X'_{\text{segundo periodo}} - X'_{\text{primer periodo}}$ (variables sin estacionar)

I = cálculo de los índices estacionales

3.3.6 Método de Holt con estacionalidad

Este método consiste en la aplicación del método HOLT, pero a series de tiempo que presentan el componente de estacionalidad⁸. El procedimiento es que el que se describe a continuación:

1. Desestacionalizar los datos.
2. Emplear el método de suavizamiento exponencial doble o HOLT.

⁸ Luna, Dolores. *Apuntes del curso Planeación y control de la producción.*

3. Estacionalizar los resultados de los pronósticos.

3.3.7 Exactitud y errores en los pronósticos

La exactitud de un modelo de pronóstico depende de que tan cerca estén los valores pronosticados de los valores reales o actuales. La diferencia entre los valores pronosticados y los reales se conoce como error y se define de la siguiente manera:

$$e_t = (Y_t - \hat{Y}_t)$$

Si el modelo es bueno para pronosticar los datos actuales, entonces el error será relativamente pequeño. De hecho, si hemos modelado correctamente los datos, los únicos errores que se presentarán son los de fluctuación que no tienen un patrón definido de la serie de tiempo.

La medición de los errores es una de las herramientas que se emplean con mayor frecuencia para determinar la exactitud de los pronósticos. Estas mediciones emplean los valores absolutos o el cuadrado de los errores. Como regla general, entre más pequeña sea la suma de los errores absolutos o de los errores cuadrados, más exacto será el ajuste del modelo⁹. Algunas de las medidas estadísticas para medir la exactitud de los pronósticos son las siguientes:

1. “The mean absolute error”

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n}$$

2. “The mean of the absolute percentage error”

⁹ Gaynor, Patricia. *Introduction to time-series modeling and forecasting in business and economics*.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{Y_t}}{n}$$

donde:

e_t = error de pronóstico en el periodo t

Y_t = valor actual en el periodo t

n = número de observaciones de pronóstico en el periodo de estimación.

3. “The mean square error”

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}$$

4. “The root mean square error” (error estándar)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}}$$

donde:

e_t = error de pronóstico en el periodo t

n = número de observaciones de pronóstico en el periodo de estimación.

3.4 Inventarios

Los inventarios son aquellos bienes o artículos usados para la producción (materia prima y artículos en proceso), actividades de soporte (mantenimiento, reparación y operación) y el servicio al cliente (productos terminados y reparaciones)¹⁰. El control y mantenimiento de los inventarios siempre han sido un problema en las empresas de todos los sectores, de ahí que algunas de las funciones principales de los inventarios son: anticiparse a las demandas futuras, cubrir las fluctuaciones de abastecimiento o demanda, cubrir los tiempos de abastecimiento y proteger contra fluctuaciones de precios.

¹⁰ APICS Dictionary.

El manejo y control de los inventarios dentro de las empresas deben de coordinarse para alcanzar tres conflictivos objetivos que son:

1. Mejorar el servicio al cliente. Los niveles de inventario adecuados ayudan a maximizar el servicio al cliente debido a que siempre se cuenta con los recursos para satisfacer sus necesidades y los inventarios de seguridad ayudan a que la empresa no se quede sin inventario.
2. Reducción de los costos de operación. Los inventarios adecuados ayudan a hacer las operaciones de manufactura más productivas nivelando los niveles de producción y permitiendo corridas de producción más largas y menos costosas.
3. Minimizar la inversión o los costos de inventario. Los inventarios se deben balancear para minimizar los costos de acarreo con los costos de faltante.

En la planeación de todos los sistemas de inventarios siempre existen dos cuestionamientos principales, ¿cuánto se debe de ordenar de cada artículo cuando se colocan los pedidos? y ¿cuándo se debe colocar las órdenes? La cantidad a ordenar se conoce como tamaño de lote y puede ser fija o variable de acuerdo a las necesidades de la empresa y a las características de la demanda. El punto de reorden es el término que indica el momento en el que se deben colocar los pedidos. Estas dos variables son dependientes la una de la otra, por lo que cambios en una siempre afectará a la otra. Es por eso que las empresas siempre deben tener esto en cuenta en el momento de la selección de sus sistemas de inventarios.

Todos los sistemas de inventarios cuentan con algunos componentes que varían de acuerdo a las características particulares de cada empresa, y por esto, que cada empresa debe buscar el sistema de manejo y control de inventarios que más se ajuste a sus

necesidades y mejor le convenga. Algunos de los componentes principales de los modelos de inventarios se explican a continuación.

3.4.1 Demanda

La demanda se refiere a las unidades que se toman del inventario en un periodo de tiempo. Cuando la demanda es la misma en cada periodo, se dice que es constante, mientras que si cambia periodo a periodo entonces la demanda será variable. La demanda puede ser de dos tipos:

1. Determinística. Cuando su tamaño es conocido con exactitud.
2. Probabilística. Cuando su tamaño no es conocido y puede en algunas ocasiones su distribución de probabilidad puede ser conocida o no. Estas distribuciones de probabilidad pueden ser: discretas, cuando sólo pueden tener ciertos valores, o continuas, cuando pueden tener cualquier valor.

3.4.2 Abastecimiento

El abastecimiento se refiere al número de unidades que serán recibidas para ser almacenadas en el inventario. Un concepto importante al hablar de abastecimiento es el *lead time*, que es el tiempo transcurrido entre la solicitud y la recepción de un pedido. El *lead time* puede ser constante o variable con una distribución de probabilidad.

3.4.3 Restricciones

Las restricciones son limitaciones existentes en los sistemas de inventarios. Algunas de las restricciones más comunes son: limitaciones de espacio en almacén; el capital que puede

ser invertido en los inventarios; limitaciones de maquinaria y personal y; políticas administrativas, como nunca quedarse sin inventario de determinados artículos¹¹. Estas restricciones son variables de acuerdo a las características de la empresa y de sus productos y pueden afectar los sistemas de inventarios de distintas maneras.

3.4.5 Costos

Los costos de inventario están asociados con la operación del sistema de inventarios y resultan de las acciones que se lleven o no a cabo por parte de las empresas al momento de establecer un sistema determinado. Estos costos son el parámetro económico básico para la elección de un modelo de inventarios y los más comunes son:

1. Costo de adquisición. Es el costo unitario de compra de un artículo si es obtenido de una fuente externa a la empresa, o el costo unitario de producción si el artículo es producido internamente. El costo unitario siempre debe ser tomado como el costo del artículo como es puesto en inventario. Para los artículos comprados, es el precio de compra más cualquier costo por transportación. Para los artículos manufacturados, el costo unitario incluye la mano de obra, materia prima y costos de producción.
2. Costo de ordenar o de arranque (*set up*). Este costo se origina de los gastos por colocar una orden a un distribuidor externo o del costo de arranque de producción. Este costo varía en función al número de órdenes o de arranques y no en función al tamaño del lote.
3. Costo por acarreo. Se refiere al costo de mantener artículos físicamente en inventario. Incluye costos de capital (costo de oportunidad), impuestos, seguros, manejo de artículos, almacenamiento, merma, obsolescencia y deterioro.

¹¹ Tersine, Richard. *Principles of inventory and materials management*.

4. Costo por faltante. Este costo es la consecuencia económica por falta interna o externa de artículos. Los faltantes externos ocurren cuando las órdenes de los clientes no se pueden completar y un faltante interno ocurre cuando una orden de un departamento dentro de la empresa no se pudo completar.