



Manual de prácticas de **PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN**

Susana Casy Téllez Ballesteros



División de Ingeniería Mecánica e Industrial
Departamento de Ingeniería Industrial

Manual de prácticas de **PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN**

Susana Casy Téllez Ballesteros

Esta obra es producto del proyecto UNAM-DGAPA-PAPIME PE110023,
"Recursos didácticos para la impartición del laboratorio de
Planeación y control de la producción".

TÉLLEZ BALLESTEROS, Susana Casy
Manual de prácticas de Planeación y control de la producción
Universidad Nacional Autónoma de México,
Facultad de Ingeniería, 2025, 85 p.

Manual de prácticas Planeación y control de la producción

Primera edición electrónica
de un ejemplar (13 MB) Formato PDF
Publicado en línea en octubre de 2025

D.R. © 2025, Universidad Nacional Autónoma de México,
Avenida Universidad 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, CDMX.

FACULTAD DE INGENIERÍA
<http://www.ingenieria.unam.mx/>

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional
Autónoma de México. Prohibida la reproducción o transmisión total
o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita
del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México.

UNIDAD DE APOYO EDITORIAL
Cuidado de la edición: Elvia Angélica Torres Rojas
Diseño y formación editorial: Nismet Díaz Ferro

Fotografía de portada: Freepik

Prólogo

La planificación de la producción es el conjunto de actividades que hay que realizar en un futuro, tendientes a la dotación oportuna de los recursos necesarios para la producción de los bienes y servicios especificados por la planeación estratégica. Mientras que el control de la producción es la técnica que verifica el cumplimiento de los planes correspondientes en las empresas privadas, sociales y gubernamentales. Su adecuada realización permite mejorar el desempeño del manejo de inventarios y gestión de recursos.

La asignatura de Planeación y Control de la Producción forma parte de las asignaturas del campo de conocimiento del área de producción, que ha estado presente en los planes del estudio desde el plan 94 en que fue creada la carrera de Ingeniería Industrial. Está planteada para ser impartida como asignatura L, lo que significa que el profesor que imparte los conceptos teóricos es el mismo que imparte el contenido práctico de la asignatura. Lo anterior permite mantener la consistencia en el avance y contenido que se puedan revisar en las prácticas.

Se han publicado tres trabajos de titulación por tesis, entre otros, que plantean varias propuestas para realizar las prácticas de laboratorio de la asignatura de Planeación y Control de la Producción. El primero fue publicado en 2005 en la Facultad de Cuautitlán cuyo autor es Roberto Milton Frey Aranza. Este manual se actualizó en 2014 (segundo trabajo publicado). La propuesta es de Julio César López Visoso, quien presenta los temas de pronósticos, inventarios, control estadístico de proceso y ergonomía.

El tercer trabajo es de Monserrat Vera Sandoval en 2016, cuya propuesta fue el desarrollo de prácticas presenciales con los apartados de pronósticos, inventarios, planeación de la demanda y programación de operaciones.

Existen otras propuestas de apuntes teóricos de la asignatura, como *Apuntes complementarios de Planeación y Control de la Producción*, realizado por Juana Lucas García, publicado en 2017. Sin embargo, hemos observado

con la pandemia la necesidad de material didáctico que se adapte a las necesidades de las plataformas virtuales.

A partir de enero del 2023, se ha llevado a cabo la evaluación, rediseño y aplicación de las prácticas con distintos grupos. Se diseñaron plantillas de Excel® como herramienta de análisis para los temas de pronósticos e inventarios.

En los semestres 2024-1 y 2024-2, las prácticas fueron probadas en diversos grupos de planeación y control de la producción. El resultado de las observaciones que compartieron alumnos participantes en el proyecto DGAPA y alumnos que resolvieron las prácticas, así como profesores, permitió el desarrollo de este trabajo, que establece las bases metodológicas para abordar los temas de los inventarios y pronósticos.

Por este motivo, en la parte A de este manual, el propósito es poner a disposición de los alumnos y académicos cuatro prácticas para ser elaboradas en un entorno virtual en la asignatura de Planeación y Control de la Producción. En la parte B, se explica el uso de herramientas tecnológicas en la plataforma Excel® para el análisis de la solución de cada una de las prácticas.

Este trabajo tiene como objetivo involucrar a los usuarios del laboratorio de Planeación y Control de la Producción, ya sean estudiantes o profesores, para disponer de recursos didácticos mínimos en el aprendizaje y la impartición de las prácticas de laboratorio.

El manual de prácticas y el uso por parte de los alumnos permitirán a las empresas donde ellos participen, contar con material para la planeación de la producción en sus empresas. El sector de impacto fundamentalmente es el sector secundario y terciario.

Cabe recordar que este proyecto está alineado al eje 2. Docencia y vida académica colegiada, 2.B Fomento a la producción de recursos de aprendizaje, cuyo objetivo es fomentar el desarrollo del personal académico mediante la productividad académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Susana Casy Téllez Ballesteros

Agradecimientos

A

P.1

P.2

P.3

P.4

El presente material ha sido desarrollado con el apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) en el proyecto PE110023.

B

Asimismo, quiero agradecer a todos los profesores y alumnos de la asignatura de Planeación y Control de la Producción que apoyaron en la aplicación y evaluación de este material didáctico; así como al personal de la Unidad de Apoyo Editorial de la Facultad de Ingeniería por su invaluable trabajo para la edición de estas prácticas.

1

2

3

4

5

VI

Índice

PRÓLOGO	IV
AGRADECIMIENTOS.	VI

PARTE A . PRÁCTICAS 1

Práctica 1. Pronóstico con patrón constante y tendencial	2
Práctica 2. Pronóstico con patrón estacional	6
Práctica 3. Inventario: Cantidad económica para ordenar (EOQ) y cantidad económica a producir (EPQ)	10
Práctica 4. EOQ descuento por cantidad.	13

PARTE B. USO DE LA PLANTILLA DE EXCEL® PARA ANÁLISIS DE LAS PRÁCTICAS. 16

1. Análisis de la práctica 1. Pronóstico con patrón constante y tendencial.	17
1.1 Método de último dato	17
1.2 Método de promedio simple	19
1.3 Método de promedio móvil	20
1.4 Método de suavizado exponencial simple	21
1.5 Método de suavizado exponencial doble	23
1.6 Método de regresión simple	26
1.7 Conclusiones de la práctica 1.	28
2. Análisis de la práctica 2. Pronóstico con patrón estacional (estacionalidad mensual).	29
2.1 Factores estacionales mensuales.	30
2.2 Método de último dato con estacionalidad mensual	31
2.3 Método de promedio simple con estacionalidad mensual.	35
2.4 Método de promedio móvil con estacionalidad mensual	36
2.5 Método de suavizado exponencial simple con estacionalidad mensual	37
2.6 Método de suavizado exponencial de Winters	38
2.7 Conclusiones de la práctica 2 con estacionalidad mensual	44

A

P.1

P.2

P.3

P.4

B

1

2

3

4

5

VII

3. Análisis de la práctica 2. Pronóstico con patrón estacional (estacionalidad trimestral)	45
3.1 Factores estacionales por trimestre	45
3.2 Método de último dato con estacionalidad trimestral	47
3.3 Método de promedio simple con estacionalidad trimestral	50
3.4 Método de promedio móvil con estacionalidad trimestral	51
3.5 Método de suavizado exponencial simple con estacionalidad trimestral	52
3.6 Método de suavizado exponencial de Winters	53
3.7 Conclusiones de la práctica 2 con estacionalidad trimestral	57
4. Análisis de la práctica 3. Inventario: Cantidad económica para ordenar (EOQ) y cantidad económica a producir (EPQ)	58
4.1 Cantidad económica por ordenar	58
4.2 Evaluación de la cantidad por ordenar	64
4.3 Cantidad de la económica por producir	65
4.4 Evaluación de la cantidad por producir	71
4.5 Conclusiones de la práctica 3.	72
5. Análisis de la práctica 4. EOQ descuento por cantidad	73
5.1 Descuento por cantidad en todas las unidades	73
5.2 Descuento por cantidad incremental	79
5.3 Conclusiones de la práctica 4.	83
Bibliografía	84

PARTE A

PRÁCTICAS

Práctica 1.

Pronóstico con patrón constante y tendencial

1.1 Objetivo de aprendizaje

Que el estudiante comprenda los fundamentos teóricos y las aplicaciones prácticas de los pronósticos con patrón constante y tendencial.

1.2 Introducción

En el ámbito de la planeación y control de la producción, el proceso de pronóstico desempeña un papel fundamental para tomar decisiones informadas y eficientes en la gestión de la cadena de suministro. Los pronósticos son estimaciones anticipadas de variables futuras, como la demanda de productos o servicios, y proporcionan una base sólida para la toma de decisiones estratégicas y tácticas.

Los métodos de series de tiempo realizan la estimación de la demanda ajustando los datos a patrones de comportamiento. Uno de los patrones ampliamente utilizados es la serie de tiempo con patrón constante. En otras palabras, se observa que no cuenta con tendencia y los datos históricos se mantienen sin variación en el tiempo.

1.3 Desarrollo

Instrucciones: Lea los siguientes casos y responda lo que se solicita.

Caso 1: Una tienda de ropa desea pronosticar las ventas mensuales de un artículo durante los últimos 6 meses. Los datos de venta son los mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de venta

Mes	1	2	3	4	5	6
Venta	570	567	559	578	582	563

- a) Calcula el pronóstico del periodo 7 del artículo por el método de último dato.
- b) Calcula el pronóstico del periodo 7 del artículo por el método de promedio simple.
- c) Calcula el pronóstico del periodo 7 del artículo por el método de promedio móvil con 3 meses.
- d) Calcula el pronóstico del periodo 7 del artículo por el método de suavizado exponencial simple con alfa de 0.1 ($\alpha = 0.1$) y el valor de $F_1 = 568$.
- e) Calcula el pronóstico del periodo 7 del artículo por el método de suavizado exponencial doble con alfa de 0.1 y beta de 0.1 ($\alpha = 0.1$, y $\beta = 0.1$). Nota establecer en la plantilla del dato iniciador, que permite arrancar con el pronóstico, el cual se vuelve irrelevante en el uso de los métodos.
- f) Calcula el pronóstico de las ventas mensuales del artículo por el método de regresión lineal.
- g) ¿Qué método de pronósticos utilizarías para determinar las ventas mensuales del mes 7? Justifique su respuesta.

Caso 2: Una empresa de seguros que ha decidido expandir su mercado a la capital de su actual país. Por ser una ciudad con alta concentración de habitantes, han decidido comenzar ofreciendo servicio de seguro para coches.

Como actividad inicial, la empresa desea pronosticar cuántos seguros de vehículo serán contratados por las personas de la capital, para lo cual usarán como dato inicial los seguros de vehículos contratados en otra ciudad con menos habitantes.

Con los datos y la plantilla de Excel® responda los siguientes incisos

- a) Describa el patrón de comportamiento de la demanda que presenta la demanda de seguros.

- b) Calcula el pronóstico de la demanda de seguros de vehículos contratados del periodo 13 por el método de último dato.

Tabla 2. Demanda de seguros

Periodo	Demanda
1	106
2	108
3	108
4	111
5	118
6	137
7	154
8	172
9	183
10	189
11	186
12	188

- c) Calcula el pronóstico de la demanda de seguros de vehículos contratados del periodo 13 por el método de promedio simple.
- d) Calcula el pronóstico de la demanda de seguros de vehículos contratados del periodo 13 por el método de promedio móvil con 2 periodos.
- e) Calcula el pronóstico de la demanda de seguros de vehículos contratados del periodo 13 por el método de suavizado exponencial simple con alfa de 0.9 ($\alpha = 0.9$) y $F_1 = 105$.
- f) Calcula el pronóstico de la demanda de seguros de vehículos contratados del periodo 13 por el método de suavizado exponencial doble con alfa de 0.9 y beta de 0.9 ($\alpha = 0.9$, y $\beta = 0.9$).
- g) Calcula el pronóstico de la demanda de seguros de vehículos contratados por el método de regresión lineal.
- h) ¿Qué método de pronósticos utilizarías para determinar la demanda de seguros de vehículos contratados del periodo 13? Justifique su respuesta.

Caso 3: Una empresa que fabrica una marca de auriculares premium se enfrenta a un desafío inesperado. El encargado de prever la demanda para el próximo año se ha jubilado, y te han contratado para tomar su lugar y planificar la demanda para el año 2024. La marca de auriculares es conocida por su calidad de sonido excepcional y comodidad ergonómica. Se utilizan tanto

para escuchar música de alta fidelidad como para experiencias de juego inmersivas.

La empresa ha recopilado datos históricos de ventas de los últimos cinco años, incluidos los números mensuales de unidades vendidas y se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. Datos históricos de ventas

	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	23	33	30	32	35
Febrero	26	33	32	31	35
Marzo	29	29	29	31	36
Abril	27	32	30	35	28
Mayo	29	33	32	32	28
Junio	29	33	31	36	30
Julio	30	32	32	34	28
Agosto	29	33	32	31	29
Septiembre	32	33	30	31	29
Octubre	29	31	31	30	34
Noviembre	28	31	31	31	33
Diciembre	31	31	30	33	32

- ¿Cuál es el patrón de comportamiento que observas en la demanda?
- Evalúa cuatro métodos de pronóstico diferentes para estimar la demanda.
- ¿Cuál método de pronóstico sugieres utilizar para enero de 2024? Justifica tu respuesta.

1.4 Conclusiones

Reflexiona sobre las lecciones aprendidas durante la práctica y cómo estas experiencias pueden aplicarse en futuros escenarios de planeación y control de la producción. Describe si fue útil la práctica para generar los pronósticos. Identifica las áreas en las que podrías mejorar tus habilidades y conocimientos relacionados con los pronósticos.

Práctica 2.

Pronóstico con patrón estacional

2.1 Objetivo de aprendizaje

Que el estudiante sea capaz de identificar patrones estacionales y la naturaleza de la estacionalidad, así como generar y evaluar diferentes métodos de pronósticos.

2.2 Introducción

Los pronósticos juegan un papel importante al proporcionar estimaciones y proyecciones sobre eventos futuros. Un tipo común de pronóstico es el que involucra un patrón estacional, es decir, patrones regulares que se repiten en intervalos de tiempo específicos.

En esta práctica, nos centraremos en el análisis de datos que exhiben una estacionalidad en la demanda. La identificación y comprensión de estos patrones estacionales son cruciales para una planificación y programación efectivas, ya que permiten anticipar las fluctuaciones y ajustar las estrategias empresariales en consecuencia.

2.3 Desarrollo

Instrucciones: Lee los siguientes casos y responda lo que se solicita.

Caso 1: Una tienda minorista se especializa en la venta de productos relacionados con actividades al aire libre. Durante el verano, la demanda de artículos como ropa de playa, equipos de campamento y accesorios para actividades

al aire libre suele aumentar considerablemente. Sin embargo, durante el invierno, la demanda de estos productos tiende a disminuir significativamente.

En esta situación, el uso de pronósticos con estacionalidad puede ayudar a la tienda a gestionar de manera más eficiente su inventario.

Los datos históricos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Datos históricos de demanda

Año	Trimestre	Demanda
2021	I	249
	II	267
	III	292
	IV	133
2022	I	237
	II	239
	III	294
	IV	148
2023	I	254
	II	261
	III	313
	IV	156

Analiza los datos históricos de demanda trimestral y responde los siguientes incisos:

- Calcula los patrones estacionales por trimestre.
- Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de último dato.
- Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de último dato con estacionalidad.
- Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de promedio simple.
- Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de promedio simple con estacionalidad.

- f) Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de promedio móvil con 4 meses.
- g) Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de promedio móvil con 2 meses con estacionalidad.
- h) Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de suavizado exponencial simple con alfa de 0.1 ($\alpha = 0.1$), $F_1 = 249$.
- i) Calcula el pronóstico de las ventas trimestrales del artículo por el método de suavizado exponencial simple con estacionalidad y alfa de 0.7 ($\alpha = 0.7$), y $F_1 = 239$.
- j) ¿Qué método de pronósticos utilizaría para determinar las ventas trimestrales del año 2024? Justifique su respuesta.

Caso 2: El gerente de un hotel es consciente de las variaciones que hay en la demanda de habitaciones que ofrecen dependiendo de la temporada que está transcurriendo. Sin embargo, no ha llevado a cabo un estudio que pueda ayudarlo a planificar mejor la fuerza laboral, es decir, contratar personal adicional durante los periodos de alta demanda o reducir los costos laborales en periodos de baja demanda. Te han contratado para realizar el pronóstico de la demanda de habitaciones del próximo año. Los siguientes datos históricos se muestran en la tabla 5.

- a) Calcula los patrones estacionales por mes.
- b) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de último dato.

Tabla 5. Demanda de habitaciones

Mes	2021	2022	2023
Enero	9	6	7
Febrero	2	3	5
Marzo	10	21	24
Abril	29	39	43
Mayo	25	64	74
Junio	58	68	71
Julio	121	135	126
Agosto	58	48	30

- c) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de último dato con estacionalidad.
- d) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de promedio simple.
- e) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de promedio simple con estacionalidad.
- f) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de promedio móvil con 7 meses.
- g) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de promedio móvil con 7 meses con estacionalidad.
- h) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de suavizado exponencial simple con alfa de 0.1 ($\alpha = 0.1$), $F_1 = 31$.
- i) Calcula el pronóstico de la demanda de habitaciones por el método de suavizado exponencial simple con estacionalidad, utilizando alfa de 0.9 ($\alpha = 0.9$) y $F_1 = 72$.
- j) ¿Qué método de pronósticos utilizarías para determinar la demanda de habitaciones del año 2024? Justifique su respuesta.

2.4 Conclusiones

Considera el impacto que los pronósticos con tendencia y estacionalidad pueden tener en la satisfacción del cliente y en la reputación de la empresa. Menciona la manera en que los pronósticos permiten a las empresas brindar un mejor servicio.

Práctica 3.

Inventario: Cantidad económica para ordenar (EOQ) y cantidad económica a producir (EPQ)

3.1 Objetivo de aprendizaje

El alumno determinará la política de inventarios de acuerdo con las características del sistema de producción, definiendo los volúmenes óptimos de producción e inventarios mediante el modelo de cantidad económica a ordenar y el modelo de cantidad económica a producir.

3.2 Introducción

La gestión eficiente de inventarios es un componente esencial en el campo de la planeación y control de la producción. La correcta administración de los niveles de inventario puede tener un impacto significativo en la rentabilidad y el desempeño de las empresas. En esta práctica, exploraremos dos modelos utilizados en la gestión de inventarios: el modelo EOQ (*Economic Order Quantity*) y el modelo EPQ (*Economic Production Quantity*).

El modelo EOQ se utiliza para determinar la cantidad óptima de pedido que minimice los costos totales de inventario. Este modelo aplica cuando se conoce la demanda y su comportamiento es constante, los costos unitarios se mantienen en el horizonte de planeación, y no se permiten faltantes. Por otro lado, el modelo EPQ se utiliza para calcular la cantidad óptima de producción que minimiza los costos totales, considerando una tasa de producción que abastece de manera finita el inventario.

3.3 Desarrollo

Caso 1: Una empresa ofrece paneles solares para hogar y para alumbrado público, pero no tiene un control específico de inventario, por lo que busca reducir su costo de inventario, calculando la cantidad óptima de pedido que debe realizar de celdas fotovoltaicas de 50 watts. La demanda es de 12500 unidades anuales. El costo de ordenar es \$ 450 por orden. El costo anual de mantenerla es \$ 2 por unidad. El costo por unidad es de \$ 50.

- a) Calcula la cantidad óptima de pedido.
- b) Número esperado de órdenes de compra.
- c) El costo total anual.
- d) La geometría del inventario.

Caso 2: Juan es el agente de compras para un centro de cómputo de un gran almacén de descuento. Él recientemente ha agregado una computadora con las mejores características en el mercado, el modelo “X”. Las ventas de este modelo son actualmente de 1750 máquinas al año. Juan compra estas computadoras directamente del fabricante a un costo unitario de \$ 5600, y estima que el costo anual de mantener los artículos en el inventario es de un 25 % del costo de compra y que el costo administrativo asociado con emitir una orden de compra es de \$ 1000.

- a) Juan actualmente está usando la política de ordenar 30 modelos de la computadora “X” cada vez, donde cada orden es emitida para que llegue cuando la computadora está agotada. Determine los costos anuales en que se incurre con el uso de esta política.
- b) Determina el costo total cuando la cantidad a ordenar cambia en 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 unidades. ¿Cuál es la cantidad con costo mínimo?
- c) Determina la cantidad óptima a ordenar con el modelo EOQ y su correspondiente costo.
- d) En este caso, ¿cuál es la diferencia entre mantener su política de ordenar 30 modelos y ordenar la cantidad óptima?
- e) ¿Qué cantidad de unidades del modelo “X” recomendaría ordenar? Justifique su respuesta.

Caso 3: Una empresa de producción de cemento tiene un pronóstico de demanda para el tipo de cemento "Cemento Resistente" de 2160 toneladas al año. Además, su capacidad de producción anual es de 3000 toneladas.

La empresa estima que el costo de mantener una tonelada de cemento en inventario es del 20 % del costo por tonelada anual, y el costo por tonelada del producto es de \$ 600. Además, el costo de realizar una orden de producción es de \$ 700. Con base en esta información, calcula los siguientes incisos:

- a) El tamaño de lote óptimo de producción.
- b) El costo promedio anual de inventario.
- c) La geometría del inventario.

3.4 Conclusiones

Describe la ventaja o desventajas que observas al aplicar el análisis de utilizar una política EOQ o EPQ de ordenar, comparándola con una política que no involucre el análisis de costos.

Práctica 4.

EOQ descuento por cantidad

4.1 Objetivo de aprendizaje

El alumno determinará la política de inventarios de acuerdo con las características del sistema de producción, definiendo los volúmenes óptimos de compra de inventarios mediante el modelo de descuento por cantidad en todas las unidades y descuento incremental, con el objetivo de reducir los costos de manejo del inventario.

4.2 Introducción

La eficiente gestión de inventario es un factor crítico en el control de gastos para mantener el flujo adecuado de bienes dentro de la cadena de suministro. En muchos casos, los proveedores ofrecen descuentos por cantidad en función del volumen de pedido realizado. Estos descuentos representan una ventaja significativa para las empresas, ya que se ofrece la adquisición de más inventario con mejor costo; sin embargo, hay consecuencias a estas decisiones. Por principio de cuentas se tiene pérdida de liquidez debido a la mayor inversión en inventario. Cuando la liquidez no representa un problema para la empresa, otras consecuencias se presentan como deterioro, obsolescencia y otros gastos de mantenimiento. Por lo cual, analizaremos los factores clave que influyen en la determinación de la cantidad óptima de pedido y cómo estos descuentos afectan el equilibrio entre los costos de ordenar y los costos de mantener inventario.

4.3 Desarrollo

Caso 1: Una empresa que fabrica televisores y utiliza 200 unidades de pantallas LED por año en su proceso de producción. Para mantener su inventario bajo control, el gerente de producción de Sakura ha estado solicitando 50 unidades de pantallas LED en cada pedido. Sin embargo, el proveedor de pantallas LED ahora ofrece un descuento por pedidos de una cantidad mayor, según el siguiente programa de precios.

La compañía utiliza una tasa de costo de mantenimiento anual del 40 % del precio del artículo. El costo total asociado con efectuar un pedido es de \$ 700 por pedido.

El gerente de producción, Hiroshi Tanaka, ha decidido utilizar el modelo EOQ con descuentos por cantidad para determinar la política óptima de inventario de pantallas LED.

Tabla 6. Descuento en todas las unidades

Intervalo de descuento	1 a 200	201 a 999	1,000 o más
Precio por caja	105 pesos	85 pesos	60 pesos

- a) Calcula el costo promedio anual del inventario de la política actual al ordenar 50 unidades.
- b) Calcula la cantidad económica a ordenar y su correspondiente costo promedio anual del inventario si el proveedor aplica el descuento por cantidad en todas las unidades.
- c) Determina si le conviene a la empresa aprovechar el descuento por cantidad y justifique su respuesta.

Caso 2: La compañía “Contactos de México” produce contactos de cobre que utiliza en interruptores y relevadores. Contactos de México necesita determinar la cantidad de pedido para satisfacer la demanda anual de 5000 kilogramos al año al menor costo. El costo de mantener la materia prima (cobre) en almacén corresponde al 20 % por unidad por año del precio del cobre. El costo de realizar una orden por concepto de papelería y teléfono es de

\$ 150. El precio del cobre depende de la cantidad ordenada al proveedor. La compañía Contactos de México debe elegir entre dos proveedores: el proveedor “Cobres Magneto” maneja un descuento en todas las unidades con los siguientes datos del precio de cobre: \$ 0.82 por kilogramo hasta 2,499 kilogramos; \$ 0.81 por kilogramo para pedidos entre 2500 y 4999 kilogramos; y \$ 0.80 por kilogramo para pedidos superiores a 5000 kilogramos. El segundo proveedor “El As del cobre” maneja un descuento incremental con los siguientes datos del precio del cobre: \$ 0.81 por kilogramo hasta 2499 kilogramos; \$ 0.80 por kilogramo para pedidos entre 2500 y 4999 kilogramos; y \$ 0.79 por kilogramo para pedidos superiores a 5000 kilogramos.

Calcula lo siguiente para el proveedor “Cobres Magneto”:

- a) ¿Cuál es la cantidad del pedido económico que se debe comprar cada vez?
- b) ¿Cuál es el costo total de efectuar el pedido al año?
- c) ¿Cuántas veces en el año se hará el pedido?

Calcula lo siguiente para el proveedor “El As del cobre”:

- a) ¿Cuál es la cantidad del pedido económico que se debe comprar cada vez?
- b) ¿Cuál es el costo total de efectuar el pedido al año?
- c) ¿Cuántas veces en el año se hará el pedido?

Responda lo siguiente:

- a) Determina qué proveedor elegirías y justifica tu respuesta.

4.4 Conclusiones

Explica brevemente en qué consiste el modelo descuento por cantidad y describe sus supuestos básicos.

Menciona si el análisis de costos de inventario le permite tomar decisiones para la adquisición del producto con el modelo de descuento por cantidad.

PARTE B

USO DE LA PLANTILLA DE EXCEL® PARA EL ANÁLISIS DE LAS PRÁCTICAS

Análisis de la práctica 1.

Pronóstico con patrón constante y tendencial

A continuación, se describirá el uso de la herramienta desarrollada en una plantilla de Excel® donde se programaron los algoritmos para resolver la práctica 1. La primera hoja presenta la introducción a la utilización de la plantilla, véase la figura 1.

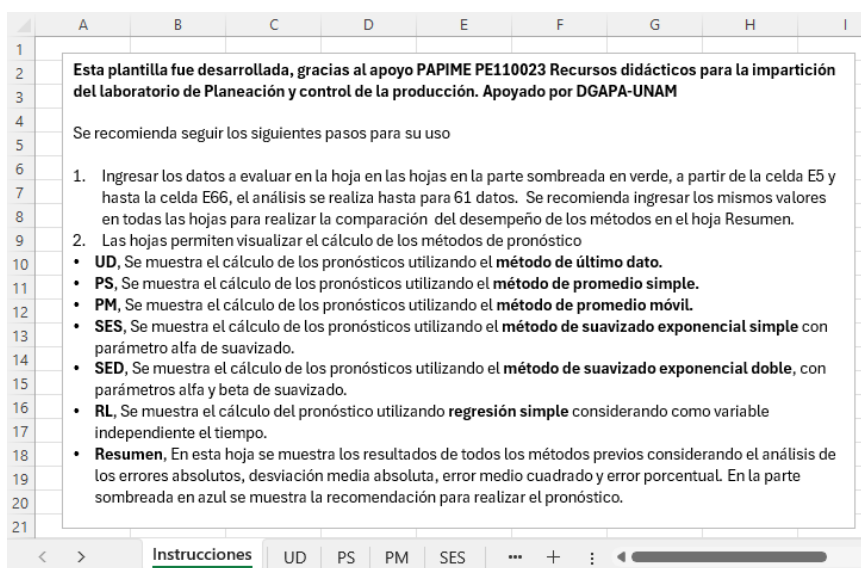


Figura 1. Instrucciones de la práctica 1

1.1 Método de último dato

El método de último dato es el valor pronosticado para el periodo siguiente, igual al valor observado anterior. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico con último dato con la fórmula (1) en la columna D, a partir de la celda D5 y hasta la celda D66 (véase la figura 3).

$$F_t = X_{t-1} \quad (1)$$

Donde:

F_t Pronóstico con el último dato del periodo, t

X_{t-1} Valor observado en el periodo $t - 1$, o el último valor observado

	B	C	D
4	Periodo de tiempo	Datos	Pronóstico de último dato
5	1	570	
6	2	567	=SI(ESNUMERO(C5),C5,"")
7	3	559	=SI(ESNUMERO(C6),C6,"")
8	4	578	=SI(ESNUMERO(C7),C7,"")
9	5	582	=SI(ESNUMERO(C8),C8,"")
10	6	563	=SI(ESNUMERO(C9),C9,"")
11	7	574	=SI(ESNUMERO(C10),C10,"")
12	8	569	=SI(ESNUMERO(C11),C11,"")
13	9	566	=SI(ESNUMERO(C12),C12,"")
14	10	581	=SI(ESNUMERO(C13),C13,"")
15	11	581	=SI(ESNUMERO(C14),C14,"")
16	12		=SI(ESNUMERO(C15),C15,"")

Figura 2. Plantilla para cálculo de pronóstico de último dato

El cálculo del método del último dato se ejemplifica con la evaluación de la celda D8 de la plantilla que se muestra en la figura 2, con la fórmula descrita en la figura 3. En Excel® se utiliza la fórmula igual a la celda que se observa en el periodo anterior, si el valor observado se encuentra en C7, el pronóstico para el periodo siguiente es =C7. La función de Excel® “ESNUMERO(celda)”, permite evaluar si la celda contiene un valor numérico; la función condicional “SI(condición, valor verdadero, valor falso)”, permite decidir si se calcula o no el pronóstico considerando que exista un valor numérico en la celda.

$$=SI(\underbrace{ESNUMERO(C7)}_{\text{Aseguramos que exista un valor observado en el periodo anterior}}, \underbrace{C7}_{X_{t-1}}, "")$$

Figura 3. Fórmula en Excel® para cálculo de pronóstico con último dato

1.2 Método de promedio simple

El método de promedio simple es un promedio de los valores observados del pasado en el cual los valores observados de todos los periodos anteriores tienen el mismo peso relativo. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico con promedio simple con la fórmula (2) en la columna D, a partir de la celda D5 y hasta la celda D66 (véase la figura 4).

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^{t-1} X_i}{t-1} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{t-2} + X_{t-1}}{t-1} \quad (2)$$

Donde:

F_t Pronóstico con promedio simple del periodo t .

X_i Valor observado en el periodo i , donde i puede tener el valor de 1 hasta $t-1$.

	B	C	D
	Periodo de tiempo	Datos	Pronóstico de promedio simple
5	1	570	
6	2	567	=SI(ESNUMERO(C5),PROMEDIO(\$C\$5:C5),"")
7	3	559	=SI(ESNUMERO(C6),PROMEDIO(\$C\$5:C6),"")
8	4	578	=SI(ESNUMERO(C7),PROMEDIO(\$C\$5:C7),"")
9	5	582	=SI(ESNUMERO(C8),PROMEDIO(\$C\$5:C8),"")
10	6	563	=SI(ESNUMERO(C9),PROMEDIO(\$C\$5:C9),"")
11	7	574	=SI(ESNUMERO(C10),PROMEDIO(\$C\$5:C10),"")
12	8	569	=SI(ESNUMERO(C11),PROMEDIO(\$C\$5:C11),"")
13	9	566	=SI(ESNUMERO(C12),PROMEDIO(\$C\$5:C12),"")
14	10	581	=SI(ESNUMERO(C13),PROMEDIO(\$C\$5:C13),"")
15	11	581	=SI(ESNUMERO(C14),PROMEDIO(\$C\$5:C14),"")
16	12		=SI(ESNUMERO(C15),PROMEDIO(\$C\$5:C15),"")
	< >	Instrucciones UD PS PM SES SED RL ...	

Figura 4. Plantilla para cálculo de pronóstico de promedio simple

El cálculo del método de promedio simple se ejemplifica con la evaluación de la celda D7 de la plantilla que se muestra en la figura 4, con la fórmula descrita en la figura 5. En Excel® se utiliza la fórmula =PROMEDIO (celda inicial: celda final).

En la sustitución se evalúa el promedio de la celda inicial X_1 (dato ubicado en la celda C5), y la celda final X_{t-1} (dato ubicado en la celda C10).

$$=SI(ESNUMERO(C6),PROMEDIO(\$C\$5:C6), "")$$

Figura 5. Fórmula en Excel® para cálculo de promedio simple

1.3 Método de promedio móvil

El método de promedio móvil se calcula promediando los valores observados de los periodos recientes. El promedio se “mueve” en el tiempo en el sentido de que, al transcurrir un periodo, el valor observado del periodo más antiguo se descarta, y se agrega el valor más reciente. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico con promedio móvil con la fórmula 3 en la columna D, a partir de la celda D5 y hasta la celda D66 ((véase la figura 6).

$$F_t = \frac{X_{t-n} + X_{t-n+1} + \dots + X_{t-2} + X_{t-1}}{n} = \frac{\sum_{i=t-n}^{i=t-1} X_i}{n} \quad (3)$$

Donde:

- F_t Pronóstico con el método de promedio móvil del periodo t .
- X_i Valor observado en el periodo i , donde i puede tener el valor de $t - n$ hasta $t - 1$.
- n Número de periodos a promediar.

Periodo de	Datos	Pronóstico de promedio móvil	Error de	% de Error		
1	570	=SI(O(NO(ESNUMERO(C4)),FILAS(D5)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C5,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES		Desviación absoluta media	MAD =
2	567	=SI(O(NO(ESNUMERO(C5)),FILAS(D6)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C6,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES		Error cuadrado medio absoluto medio	MSE =
3	559	=SI(O(NO(ESNUMERO(C6)),FILAS(D7)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C7,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			MAPE =
4	578	=SI(O(NO(ESNUMERO(C7)),FILAS(D8)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C8,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			
5	582	=SI(O(NO(ESNUMERO(C8)),FILAS(D9)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C9,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			
6	563	=SI(O(NO(ESNUMERO(C9)),FILAS(D10)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C10,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			
7	574	=SI(O(NO(ESNUMERO(C10)),FILAS(D11)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C11,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			
8	569	=SI(O(NO(ESNUMERO(C11)),FILAS(D12)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C12,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			
9	566	=SI(O(NO(ESNUMERO(C12)),FILAS(D13)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C13,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			
10	581	=SI(O(NO(ESNUMERO(C13)),FILAS(D14)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C14,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			
11	581	=SI(O(NO(ESNUMERO(C14)),FILAS(D15)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C15,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))	=SI(Y=-SI(ES			

Figura 6. Plantilla para cálculo de pronóstico de promedio móvil

En la figura 6 se muestra, en la celda I11, el valor de 2. Esto significa que la plantilla va a considerar el valor de 2 como el número de periodos a promediar, o el promedio móvil se calcula para dos periodos. El valor de periodos a promediar se puede modificar para evaluar diferentes pronósticos.

El cálculo del método de promedio móvil se ejemplifica con la evaluación de la celda D8 de la plantilla que se muestra en la figura 6, con la fórmula descrita en la figura 7. En Excel® se utiliza la fórmula anidada =PROMEDIO(DESREF(referencia, filas, columnas, alto, ancho)), la cual permite promediar el número de periodos que se ingresen en la celda I11.

=SI(O(NO(ESNUMERO(C7)),FILAS(D8)-4<=\$I\$11),"",PROMEDIO(DESREF(C8,-\$I\$11,0,\$I\$11,1)))

Aseguramos que exista un valor observado en el periodo

Aseguramos que al menos existan n datos previos al promediar

PROMEDIO(DESREF(Celda referencia, n filas previas, 0 columnas, n celdas, ancho 1))

Figura 7. Fórmula en Excel® para cálculo de pronóstico de promedio móvil

1.4 Método de suavizado exponencial simple

El método de suavizado exponencial simple se calcula ponderando el último valor observado y sumando el complemento a uno de esta ponderación al

último pronóstico calculado para el mismo periodo. La ponderación corresponde a la constante de suavizamiento y en la fórmula se conoce como alfa (α).

En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico de suavizado exponencial simple con la fórmula 4, en la columna D, a partir de la celda D5 y hasta la celda D66 (véase la figura 8).

$$F_t = \alpha * X_{t-1} + (1 - \alpha) * F_{t-1} \quad (4)$$

Donde:

F_t Pronóstico con suavizado exponencial simple del periodo t

α Constante de suavizado del patrón constante

X_{t-1} Valor observado en el periodo $t - 1$

El valor de alfa (α), se ingresa en la celda I11 de la plantilla que se muestra en la figura 8. Para esta hoja de Excel®, el valor inicial para el último pronóstico se considera el mismo dato del periodo 1. Sin embargo, si se desea modificar la estimación inicial, se puede llevar a cabo el cambio en la celda I14 de la plantilla que se muestra en la figura 8.

	B	C	D	E	F	G	H	I			
	Periodo de tiempo	Datos	Pronóstico con suavizado exponencial simple	Error de	% de Error						
4											
5	1	570	=SI(ESNUMERO(I14),I14,"")		=SI(ESN		Desviación absoluta media	MAD =			
6	2	567	=SI(ESNUMERO(C5),\$I\$11*C5+(1-\$I\$11)*D5,"")	=SI(Y(	=SI(ESN		Error cuadrado medio	MSE =			
7	3	559	=SI(ESNUMERO(C6),\$I\$11*C6+(1-\$I\$11)*D6,"")	=SI(Y(	=SI(ESN		Error porcentual absoluto medio	MAPE =			
8	4	578	=SI(ESNUMERO(C7),\$I\$11*C7+(1-\$I\$11)*D7,"")	=SI(Y(	=SI(ESN						
9	5	582	=SI(ESNUMERO(C8),\$I\$11*C8+(1-\$I\$11)*D8,"")	=SI(Y(	=SI(ESN						
10	6	563	=SI(ESNUMERO(C9),\$I\$11*C9+(1-\$I\$11)*D9,"")	=SI(Y(	=SI(ESN		Constante de suavizado				
11	7	574	=SI(ESNUMERO(C10),\$I\$11*C10+(1-\$I\$11)*D10,"")	=SI(Y(	=SI(ESN		$\alpha =$	0.1			
12	8	569	=SI(ESNUMERO(C11),\$I\$11*C11+(1-\$I\$11)*D11,"")	=SI(Y(	=SI(ESN						
13	9	566	=SI(ESNUMERO(C12),\$I\$11*C12+(1-\$I\$11)*D12,"")	=SI(Y(	=SI(ESN		Estimación inicial				
14	10	581	=SI(ESNUMERO(C13),\$I\$11*C13+(1-\$I\$11)*D13,"")	=SI(Y(	=SI(ESN		F1=	=C5			
15	11	581	=SI(ESNUMERO(C14),\$I\$11*C14+(1-\$I\$11)*D14,"")	=SI(Y(	=SI(ESN						
16	12		=SI(ESNUMERO(C15),\$I\$11*C15+(1-\$I\$11)*D15,"")	=SI(Y(	=SI(ESN						
17	13		=SI(ESNUMERO(C16),\$I\$11*C16+(1-\$I\$11)*D16,"")	=SI(Y(	=SI(ESN						
18	14		=SI(ESNUMERO(C17),\$I\$11*C17+(1-\$I\$11)*D17,"")	=SI(Y(	=SI(ESN						
						700					
	<	>	Instrucciones	UD	PS	PM	SES	SED	RL	Resumen	+

Figura 8. Plantilla para cálculo de pronóstico con suavizado exponencial simple

El cálculo del método del suavizado exponencial simple se ejemplifica con la evaluación de la celda D7 de la plantilla que se muestra en la figura 8, con la fórmula descrita en la figura 9.

$$=SI(ESNUMERO(C6), \$\$11 * C6 + (1 - \$\$11) * D6, "")$$

Aseguramos que exista un valor observado en el periodo

$\alpha * X_{t-1} + (1 - \alpha) * F_{t-1}$

Figura 9. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado exponencial simple

1.5 Método de suavizado exponencial doble

El método de suavizado exponencial doble calcula el pronóstico sumando el suavizado de patrón de comportamiento constante más k -periodos, el valor del suavizado del patrón de comportamiento tendencial. Para evaluar el suavizado de patrón de comportamiento constante, se suma el producto de la ponderación (α) por el valor observado del periodo a suavizar (X_t), más el complemento a uno de esta ponderación ($1 - \alpha$), multiplicado por la suma del último suavizado de patrón constante (S_{t-1}) y del último suavizado de patrón tendencial (B_{t-1}). Para evaluar el suavizado de patrón tendencial, se suma el producto de la ponderación (β) por la diferencia del suavizado del patrón constante del mismo periodo (S_t) menos el suavizado del patrón constante del periodo anterior (S_{t-1}), más el complemento a uno de esta ponderación ($1 - \beta$), multiplicado por el último suavizado del patrón tendencial (B_{t-1}). Las ponderaciones corresponden a la constante de suavizamiento del patrón constante (α) y constante de suavizado del patrón tendencial (β). Los valores de alfa y beta deben estar entre cero y uno.

En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado del patrón constante con la fórmula 5 en la columna D, a partir de la celda D5 y hasta la celda D66 (véase la figura 13).

$$S_t = \alpha * X_t + (1 - \alpha) * (S_{t-1} + B_{t-1}) \quad (5)$$

Donde:

- S_t Suavizado del patrón constante del periodo t
 α Constante de suavizado del patrón constante
 X_t Valor observado en el periodo t
 S_{t-1} Suavizado del patrón constante del periodo anterior
 B_{t-1} Suavizado del patrón tendencial del periodo anterior

El cálculo del suavizado del patrón constante se ejemplifica con la evaluación de la celda D7 de la plantilla que se muestra en la figura 13, con la fórmula descrita en la figura 10.

$$=SI(ESNUMERO(C7),\$K\$11*(C7)+(1-\$K\$11)*(D6+E6), "")$$

$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$
 $\alpha * X_t + (1 - \alpha) * (S_{t-1} + B_{t-1})$
 Aseguramos que exista un valor observado en el periodo

Figura 10. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón constante

En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado del patrón tendencial con la fórmula 6 en la columna E, a partir de la celda E5 y hasta la celda E66 (véase la figura 13).

$$B_t = \beta * (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) * (B_{t-1}) \quad (6)$$

Donde:

- B_t Suavizado del patrón tendencial del periodo t
 β Constante de suavizado del patrón tendencial
 S_{t-1} Suavizado del patrón constante del periodo anterior
 S_t Suavizado del patrón constante del periodo t
 B_{t-1} Suavizado del patrón tendencial del periodo anterior

El cálculo del suavizado del patrón tendencial se ejemplifica con la evaluación de la celda E7, de la plantilla que se muestra en la figura 13, con la fórmula descrita en la figura 11.

$$=SI(ESNUMERO(C7), \$K\$12*(D7-D6)+(1-\$K\$12)*E6, "")$$

$\beta * (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) * (B_{t-1})$
 Aseguramos que exista un valor observado en el periodo

Figura 11. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón tendencial

En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico con suavizado exponencial doble utilizando la fórmula 7 en la columna F, a partir de la celda F5 y hasta la celda F66, (véase la figura 13).

$$F_{t+k} = S_t + k * B_t \quad (7)$$

Donde:

- F_t Pronóstico con suavizado exponencial doble del periodo t
- S_t Suavizado del patrón constante del periodo t
- k Número de periodos futuros a pronosticar
- B_t Suavizado del patrón tendencial del periodo t

El cálculo de pronóstico con suavizado exponencial doble se ejemplifica con la evaluación de la celda F9, de la plantilla que se muestra en la figura 13, con la fórmula descrita en la figura 12 y considerando $k = 1$.

$$=SI(ESNUMERO(C8), (D8+E8), "")$$

$S_t + B_t$
 Aseguramos que exista un valor observado en el periodo anterior

Figura 12. Fórmula en Excel® para cálculo de pronóstico con suavizado exponencial doble

El valor de las constantes de suavizamientos alfa y beta (β), se ingresan en las celdas K11 y K12 respectivamente de la plantilla que se muestra en la

figura 13. El valor inicial del suavizado de patrón tendencial para el periodo inicial es el cálculo de la pendiente de los valores (se ingresa en la celda K17 de la plantilla de la figura 13). El valor inicial del suavizado del patrón constante es el traslado del promedio de los datos al periodo 0 (se ingresa en la celda K16 de la plantilla de la figura 13). Los valores iniciales y constantes de suavizamiento pueden modificarse para evaluar el pronóstico.

Periodo de	Datos	St	Bt	Pronóstico con Suavizamiento exponencial doble	Error de	% de Error		
1	570	=SI(ESNUMERO(C5),\$K\$11*(C5)+(1-\$K\$11)*(K16+K17),"")	=SI(ESNUMERO(C5),\$K\$12*(D5-K16)+(1-\$K\$12)*K17,"")					
2	567	=SI(ESNUMERO(C6),\$K\$11*(C6)+(1-\$K\$11)*(D6+E5),"")	=SI(ESNUMERO(C6),\$K\$12*(D6-D5)+(1-\$K\$12)*E5,"")	=SI(ESNUMERO(C5),(D5+E5),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
3	559	=SI(ESNUMERO(C7),\$K\$11*(C7)+(1-\$K\$11)*(D6+E6),"")	=SI(ESNUMERO(C7),\$K\$12*(D7-D6)+(1-\$K\$12)*E6,"")	=SI(ESNUMERO(C6),(D6+E6),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
4	578	=SI(ESNUMERO(C8),\$K\$11*(C8)+(1-\$K\$11)*(D7+E7),"")	=SI(ESNUMERO(C8),\$K\$12*(D8-D7)+(1-\$K\$12)*E7,"")	=SI(ESNUMERO(C7),(D7+E7),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
5	582	=SI(ESNUMERO(C9),\$K\$11*(C9)+(1-\$K\$11)*(D8+E8),"")	=SI(ESNUMERO(C9),\$K\$12*(D9-D8)+(1-\$K\$12)*E8,"")	=SI(ESNUMERO(C8),(D8+E8),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
6	563	=SI(ESNUMERO(C10),\$K\$11*(C10)+(1-\$K\$11)*(D9+E9),"")	=SI(ESNUMERO(C10),\$K\$12*(D10-D9)+(1-\$K\$12)*E9,"")	=SI(ESNUMERO(C9),(D9+E9),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
7	574	=SI(ESNUMERO(C11),\$K\$11*(C11)+(1-\$K\$11)*(D10+E10),"")	=SI(ESNUMERO(C11),\$K\$12*(D11-D10)+(1-\$K\$12)*E10,"")	=SI(ESNUMERO(C10),(D10+E10),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
8	569	=SI(ESNUMERO(C12),\$K\$11*(C12)+(1-\$K\$11)*(D11+E11),"")	=SI(ESNUMERO(C12),\$K\$12*(D12-D11)+(1-\$K\$12)*E11,"")	=SI(ESNUMERO(C11),(D11+E11),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
9	566	=SI(ESNUMERO(C13),\$K\$11*(C13)+(1-\$K\$11)*(D12+E12),"")	=SI(ESNUMERO(C13),\$K\$12*(D13-D12)+(1-\$K\$12)*E12,"")	=SI(ESNUMERO(C12),(D12+E12),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
10	581	=SI(ESNUMERO(C14),\$K\$11*(C14)+(1-\$K\$11)*(D13+E13),"")	=SI(ESNUMERO(C14),\$K\$12*(D14-D13)+(1-\$K\$12)*E13,"")	=SI(ESNUMERO(C13),(D13+E13),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
11	581	=SI(ESNUMERO(C15),\$K\$11*(C15)+(1-\$K\$11)*(D14+E14),"")	=SI(ESNUMERO(C15),\$K\$12*(D15-D14)+(1-\$K\$12)*E14,"")	=SI(ESNUMERO(C14),(D14+E14),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
12		=SI(ESNUMERO(C16),\$K\$11*(C16)+(1-\$K\$11)*(D15+E15),"")	=SI(ESNUMERO(C16),\$K\$12*(D16-D15)+(1-\$K\$12)*E15,"")	=SI(ESNUMERO(C15),(D15+E15),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			
13		=SI(ESNUMERO(C17),\$K\$11*(C17)+(1-\$K\$11)*(D16+E16),"")	=SI(ESNUMERO(C17),\$K\$12*(D17-D16)+(1-\$K\$12)*E16,"")	=SI(ESNUMERO(C16),(D16+E16),"")	=SI(Y(ES-SH)ES			

Figura 13. Plantilla para cálculo de suavizado exponencial doble

1.6 Método de regresión simple

El método de regresión consiste en relacionar el comportamiento de una variable con otra; la linealidad de la relación se observa cuando la mejor manera de describir el comportamiento entre las dos variables es una línea que pasa por en medio de todos los valores observados.

En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de regresión simple utilizando la fórmula 8 en la celda I13 (véase la figura 11).

$$F_{t+k} = a + b * t \quad (8)$$

Donde:

- F_{t+k} Pronóstico con regresión simple para el periodo $t + k$
- F_t Variable por pronosticar, considerando el periodo desde 1, 2, hasta t
- a Ordenada al origen
- b Pendiente

- t Variable independiente, en esta plantilla se considera el periodo de tiempo, por defecto asigna valores de 1, 2, etc.
- $t + k$ Número de periodos futuros a pronosticar

En la celda I11 de la plantilla de Excel® mostrada en la figura 14, se calcula la ordenada al origen. En la celda I12 de la misma plantilla, se calcula la pendiente.

	B	C	D	E	F	G	H	I
4	Periodo de tiempo	Datos	Pronóstico con Regresión lineal	Error de	% de			
5	1	570	=SI(ESNUMERO(C5),\$I\$11+(\$I\$12*B5),"")	=SI(=SI(			Desviación absoluta media	MAD =
6	2	567	=SI(ESNUMERO(C6),\$I\$11+(\$I\$12*B6),"")	=SI(=SI(			Error cuadrado medio	MSE =
7	3	559	=SI(ESNUMERO(C7),\$I\$11+(\$I\$12*B7),"")	=SI(=SI(			Error porcentual absoluto medio	MAPE =
8	4	578	=SI(ESNUMERO(C8),\$I\$11+(\$I\$12*B8),"")	=SI(=SI(				
9	5	582	=SI(ESNUMERO(C9),\$I\$11+(\$I\$12*B9),"")	=SI(=SI(				
10	6	563	=SI(ESNUMERO(C10),\$I\$11+(\$I\$12*B10),"")	=SI(=SI(				
11	7	574	=SI(ESNUMERO(C11),\$I\$11+(\$I\$12*B11),"")	=SI(=SI(				
12	8	569	=SI(ESNUMERO(C12),\$I\$11+(\$I\$12*B12),"")	=SI(=SI(				
13	9	566	=SI(ESNUMERO(C13),\$I\$11+(\$I\$12*B13),"")	=SI(=SI(				
14	10	581	=SI(ESNUMERO(C14),\$I\$11+(\$I\$12*B14),"")	=SI(=SI(				
15	11	581	=SI(ESNUMERO(C15),\$I\$11+(\$I\$12*B15),"")	=SI(=SI(				
16	12		=SI(ESNUMERO(C16),\$I\$11+(\$I\$12*B16),"")	=SI(=SI(				
17	13		=SI(ESNUMERO(C17),\$I\$11+(\$I\$12*B17),"")	=SI(=SI(				
18	14		=SI(ESNUMERO(C18),\$I\$11+(\$I\$12*B18),"")	=SI(=SI(				

Figura 14. Plantilla para cálculo de regresión simple

El cálculo de pronóstico con regresión lineal se ejemplifica con la evaluación de la celda I13, de la plantilla que se muestra en la figura 14, con la fórmula descrita en la figura 15. Para obtener un pronóstico por regresión lineal, se necesita ingresar un valor que corresponda a la variable independiente. Este valor se ingresa en la celda I16 de la plantilla de Excel® que se muestra en la figura 14.

$$=SI(ESNUMERO(I16),\$I\$11+(\$I\$12*I16),"")$$

Aseguramos que exista un valor independiente en la celda I16, para realizar el pronóstico

$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$
 a + b * t

Figura 15. Fórmula en Excel® para cálculo de regresión lineal simple

1.7 Conclusiones de la práctica 1

La descripción de los análisis de los métodos tiene como objetivo facilitar la comprensión de los métodos de pronóstico. Así como incentivar su uso y aplicación en la evaluación de diferentes métodos. En esta práctica se revisaron los métodos de pronósticos que permiten conocer el comportamiento de la demanda para patrones constantes y tendenciales.

Análisis de la práctica 2.

Pronóstico con patrón estacional. Periodo mensual

A continuación, se describirá el uso de la herramienta desarrollada en una plantilla de Excel® donde se programaron los algoritmos para resolver la práctica 2 con estacionalidad mensual. La primera hoja presenta la introducción al uso de la plantilla (véase la figura 16).

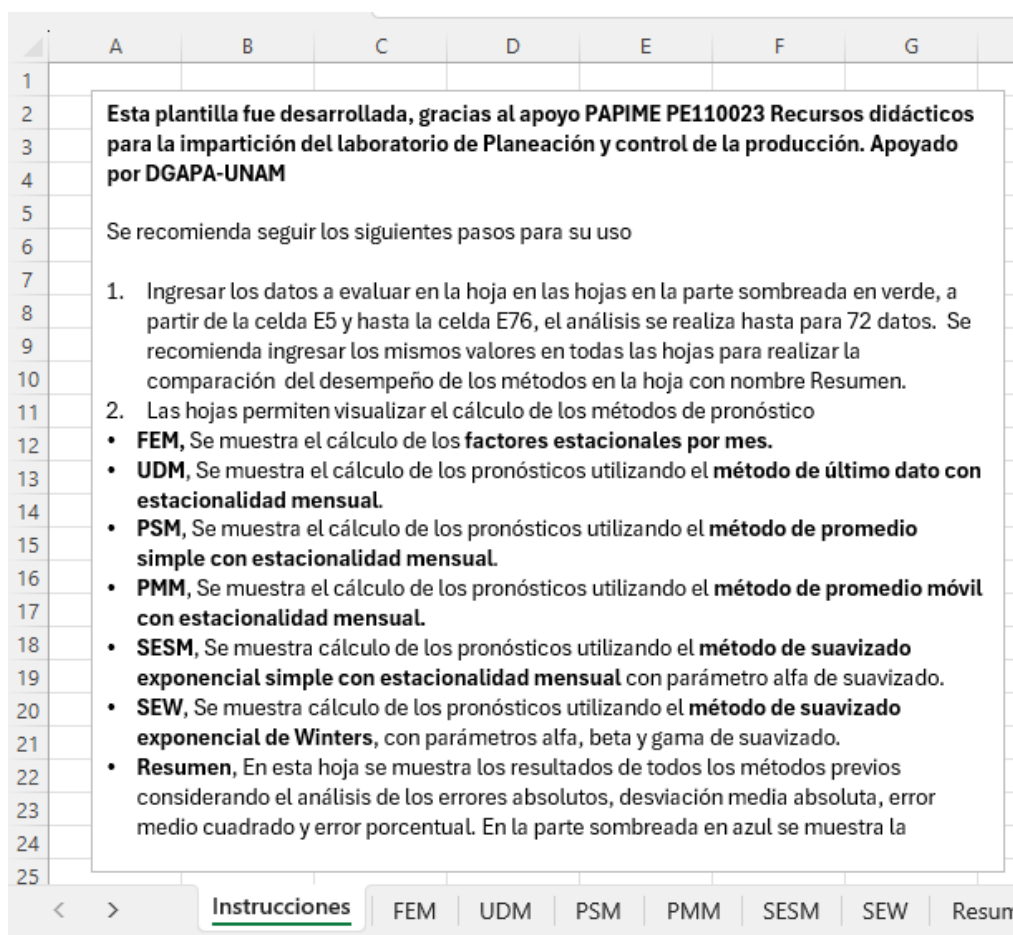


Figura 16. Instrucciones de la práctica 2, estacionalidad mensual

2.1 Factores estacionales mensuales

Dentro de análisis de una serie de tiempo, la presencia de valores que se repiten de manera regular cada periodo menor a un año, se le nombra de manera general estacionalidad. La estacionalidad en esta plantilla analiza patrones de comportamiento que se repite cada mes. El objetivo de la plantilla de factores estacionales mensuales (FEM) es promediar los valores observados de cada mes y dividirlos entre el promedio de todos los datos.

En la plantilla de Excel® se calcula el factor estacional mensual con la fórmula 9, a partir de la celda H5 y hasta la celda H16 (véase la figura 17).

$$C_i = \frac{\left(\frac{X_{\text{mes } i \text{ año } 1} + X_{\text{mes } i \text{ año } 2} + X_{\text{mes } i \text{ año } 3} + X_{\text{mes } i \text{ año } 4} + X_{\text{mes } i \text{ año } 5} + X_{\text{mes } i \text{ año } 6}}{6} \right)}{\frac{\sum_{j=1}^{j=6} \sum_{i=1}^{i=12} X_{\text{mes } i \text{ año } j}}{72}} \quad (9)$$

Donde:

C_i Estacionalidad del mes i , donde $i = 1, 2, \dots, 12$ meses

$X_{\text{mes } i \text{ año } j}$ Valor observado en el mes i y año j

	A	B	C	D	E	F	G	H
3								Factores estacionales
4		Periodo de tiempo	Año	Mes	Valor observado		Mes	Estimación del factor estacional
5		1	1	1	60		1	=PROMEDIO(E5,E17,E29,E41,E53,E65)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
6		2	1	2	75		2	=PROMEDIO(E6,E18,E30,E42,E54,E66)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
7		3	1	3	90		3	=PROMEDIO(E7,E19,E31,E43,E55,E67)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
8		4	1	4	80		4	=PROMEDIO(E8,E20,E32,E44,E56,E68)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
9		5	1	5	55		5	=PROMEDIO(E9,E21,E33,E45,E57,E69)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
10		6	1	6	70		6	=PROMEDIO(E10,E22,E34,E46,E58,E70)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
11		7	1	7	95		7	=PROMEDIO(E11,E23,E35,E47,E59,E71)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
12		8	1	8	85		8	=PROMEDIO(E12,E24,E36,E48,E60,E72)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
13		9	1	9	50		9	=PROMEDIO(E13,E25,E37,E49,E61,E73)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
14		10	1	10	65		10	=PROMEDIO(E14,E26,E38,E50,E62,E74)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
15		11	1	11	85		11	=PROMEDIO(E15,E27,E39,E51,E63,E75)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
16		12	1	12	75		12	=PROMEDIO(E16,E28,E40,E52,E64,E76)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)
17		13	2	1	64			

Figura 17. Fórmula para cálculo de factores estacionales mensuales

El cálculo del factor estacional se ejemplifica con la evaluación de la celda H7 de la plantilla que se muestra en la figura 17, con la fórmula descrita en la figura 18. El factor estacional que se calcula corresponde a marzo o el tercer mes del año, es decir, el factor estacional se evalúa promediando el tercer mes ($i = 3$) de los seis años que se evalúan en la plantilla (desde el año $j = 1$ al año $j = 6$), entre el promedio de los valores registrados en la plantilla, es decir, del primer mes del primer año ($i = 1, j = 1$), hasta el último mes del año 6 ($i = 12, j = 6$).

$$= \text{PROMEDIO}(E7, E19, E31, E43, E55, E67) / \text{PROMEDIO}(\$E\$5:\$E\$66)$$

$$= \text{PROMEDIO}(X_{i=3,j=1}, X_{i=3,j=2}, X_{i=3,j=3}, X_{i=3,j=4}, X_{i=3,j=5}, X_{i=3,j=6}) / \text{PROMEDIO}(X_{i=1,j=1}: X_{i=12,j=6})$$

Figura 18. Fórmula en Excel® para cálculo de factor estacional mensual

2.2 Método de último dato con estacionalidad mensual

Esta plantilla está construida desde el enfoque del análisis de series de tiempo por descomposición. Esto significa que el pronóstico es el producto del factor estacional multiplicado por el factor constante. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico con el último dato con estacionalidad con la fórmula 10.

$$F_t = C_i * X_{t-1} \quad (10)$$

Donde:

- F_t Pronóstico con último dato con estacionalidad del periodo t
- X_{t-1} Valor observado en el periodo $t-1$, o último valor observado
- C_i Valor del factor estacional del mes i , donde i puede ser igual a 1, 2, 3, hasta 12 meses.
- L Número de estaciones, al ser mensual, su valor es igual a 12.

Para el análisis de una serie con descomposición, se debe eliminar la estacionalidad mediante la división del valor observado entre el factor estacional. En la plantilla de Excel® se calcula la serie sin estacionalidad con la fórmula (11) en la columna F, a partir de la celda F5 hasta la celda F76 (véase la figura 19).

$$\text{Dato sin estacionalidad}_t = X_t / C_i \quad (11)$$

Donde:

X_t Valor observado en el periodo t

C_i Valor del factor estacional del mes i , donde i puede ser igual a 1, 2, 3, hasta 12 meses.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Período	Año	Mes	Valor obse	Datos sin estacionalidad	Pronóstico	Pro	Err	% de		Mes	Estimación del factor estacional
4	1	1	1	60	=SI(ESNUMERO(E5),E5/BUSCARV(D5,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")						1	=FEM!H5
5	2	1	2	75	=SI(ESNUMERO(E6),E6/BUSCARV(D6,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F5	=SI(	=SI(	=SI(		2	=FEM!H6
6	3	1	3	90	=SI(ESNUMERO(E7),E7/BUSCARV(D7,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F6	=SI(	=SI(	=SI(		3	=FEM!H7
7	4	1	4	80	=SI(ESNUMERO(E8),E8/BUSCARV(D8,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F7	=SI(	=SI(	=SI(		4	=FEM!H8
8	5	1	5	55	=SI(ESNUMERO(E9),E9/BUSCARV(D9,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F8	=SI(	=SI(	=SI(		5	=FEM!H9
9	6	1	6	70	=SI(ESNUMERO(E10),E10/BUSCARV(D10,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F9	=SI(	=SI(	=SI(		6	=FEM!H10
10	7	1	7	95	=SI(ESNUMERO(E11),E11/BUSCARV(D11,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F10	=SI(	=SI(	=SI(		7	=FEM!H11
11	8	1	8	85	=SI(ESNUMERO(E12),E12/BUSCARV(D12,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F11	=SI(	=SI(	=SI(		8	=FEM!H12
12	9	1	9	50	=SI(ESNUMERO(E13),E13/BUSCARV(D13,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F12	=SI(	=SI(	=SI(		9	=FEM!H13
13	10	1	10	65	=SI(ESNUMERO(E14),E14/BUSCARV(D14,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F13	=SI(	=SI(	=SI(		10	=FEM!H14
14	11	1	11	85	=SI(ESNUMERO(E15),E15/BUSCARV(D15,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F14	=SI(	=SI(	=SI(		11	=FEM!H15
15	12	1	12	75	=SI(ESNUMERO(E16),E16/BUSCARV(D16,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F15	=SI(	=SI(	=SI(		12	=FEM!H16
16	13	2	1	64	=SI(ESNUMERO(E17),E17/BUSCARV(D17,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F16	=SI(	=SI(	=SI(			
17	14	2	2	79	=SI(ESNUMERO(E18),E18/BUSCARV(D18,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F17	=SI(	=SI(	=SI(			
18	15	2	3	94	=SI(ESNUMERO(E19),E19/BUSCARV(D19,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F18	=SI(	=SI(	=SI(			
19	16	2	4	83	=SI(ESNUMERO(E20),E20/BUSCARV(D20,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F19	=SI(	=SI(	=SI(			
20	17	2	5	60	=SI(ESNUMERO(E21),E21/BUSCARV(D21,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F20	=SI(	=SI(	=SI(			
21	18	2	6	72	=SI(ESNUMERO(E22),E22/BUSCARV(D22,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F21	=SI(	=SI(	=SI(			
22	19	2	7	98	=SI(ESNUMERO(E23),E23/BUSCARV(D23,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F22	=SI(	=SI(	=SI(			
23	20	2	8	88	=SI(ESNUMERO(E24),E24/BUSCARV(D24,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F23	=SI(	=SI(	=SI(			
24	21	2	9	52	=SI(ESNUMERO(E25),E25/BUSCARV(D25,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F24	=SI(	=SI(	=SI(			
25	22	2	10	67	=SI(ESNUMERO(E26),E26/BUSCARV(D26,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")	=F25	=SI(	=SI(	=SI(			

Figura 19. Plantilla para cálculo de valores observados sin estacionalidad (columna F)

El cálculo del dato sin estacionalidad se ejemplifica con la evaluación de la celda F8 de la plantilla que se muestra en la figura 19, con la fórmula descrita en la figura 20. Primero, se evalúa con la fórmula de Excel® “ESNUMERO”, que exista un valor observado al que se requiera eliminar la estacionalidad. Al confirmar que exista ese valor, se calcula el cociente del valor observado entre el factor estacional. Este factor estacional se asigna con la función de

Excel®: BUSCARV, cuyo objetivo es arrojar el valor que se encuentre en el renglón ubicado en la celda D8 (donde se encuentra el valor de 4 o mes de abril), ubicado en la tabla de factores estacionales mensuales que se encuentran entre las celdas L5 a M16, y se selecciona la columna 2, para finalmente desplegar el factor estacional de abril.

$$=SI(ESNUMERO(E8),E8/BUSCARV(D8,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")$$

X_t/C_i
 Aseguramos que exista un valor observado al que se requiera quitar la estacionalidad
 Ubicación de la tabla de factores estacionales
 Número de mes
 Segunda columna de la tabla de factores

Figura 20. Fórmula en Excel® para cálculo de valores observados sin estacionalidad

Posteriormente, se aplica el método de pronósticos de último dato, esto es, calcular el valor pronosticado para el periodo actual igual al valor observado en el periodo anterior. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico de último dato con la fórmula 1, en la columna G, a partir de las celdas G6 a G76 (véase la figura 21).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Período	Año	Mes	Valor observado	Datos sin	Pronóstico de último dato	Pronóstico	Error	% de		Mes	Estimación del factor estacional
4	1	1	1	60	=SI(ESN				=SI(=SI		1	=FEM!H5
5	2	1	2	75	=SI(ESN=F5				=SI(=SI(=SI		2	=FEM!H6
6	3	1	3	90	=SI(ESN=F6				=SI(=SI(=SI		3	=FEM!H7
7	4	1	4	80	=SI(ESN=F7				=SI(=SI(=SI		4	=FEM!H8
8	5	1	5	55	=SI(ESN=F8				=SI(=SI(=SI		5	=FEM!H9
9	6	1	6	70	=SI(ESN=F9				=SI(=SI(=SI		6	=FEM!H10
10	7	1	7	95	=SI(ESN=F10				=SI(=SI(=SI		7	=FEM!H11
11	8	1	8	85	=SI(ESN=F11				=SI(=SI(=SI		8	=FEM!H12
12	9	1	9	50	=SI(ESN=F12				=SI(=SI(=SI		9	=FEM!H13
13	10	1	10	65	=SI(ESN=F13				=SI(=SI(=SI		10	=FEM!H14
14	11	1	11	85	=SI(ESN=F14				=SI(=SI(=SI		11	=FEM!H15
15	12	1	12	75	=SI(ESN=F15				=SI(=SI(=SI		12	=FEM!H16
16	13	2	1	64	=SI(ESN=F16				=SI(=SI(=SI			
17	14	2	2	79	=SI(ESN=F17				=SI(=SI(=SI			
18	15	2	3	94	=SI(ESN=F18				=SI(=SI(=SI			
19	16	2	4	83	=SI(ESN=F19				=SI(=SI(=SI			
20	17	2	5	60	=SI(ESN=F20				=SI(=SI(=SI			
21	18	2	6	72	=SI(ESN=F21				=SI(=SI(=SI			
22	19	2	7	98	=SI(ESN=F22				=SI(=SI(=SI			
23	20	2	8	88	=SI(ESN=F23				=SI(=SI(=SI			
24	21	2	9	52	=SI(ESN=F24				=SI(=SI(=SI			
25	22	2	10	67	=SI(ESN=F25				=SI(=SI(=SI			
26	23	2	11	87	=SI(ESN=F26				=SI(=SI(=SI			
27	24	2	12	77	=SI(ESN=F27				=SI(=SI(=SI			

Figura 21. Plantilla para cálculo de pronóstico de último dato (columna G)

Para finalizar el análisis del pronóstico de último dato con estacionalidad, se agrega la estacionalidad mediante el producto del factor estacional del mes correspondiente. En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de último dato con estacionalidad con la fórmula (12) en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 22).

$$\text{Pronóstico de último dato con estacionalidad}_t = X_t * C_i \quad (12)$$

Donde:

X_t Valor observado en el periodo t

C_i Valor del factor estacional del mes i , donde i puede ser igual a 1, 2, 3, hasta 12 meses.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Per iod	Añ o	M e	Valor obser	Datos sin	Pronó stico	Pronóstico de último dato con estacionalidad mensual	Err or	% de		Mes	Estimación del factor estacional
4	1	1	1	60	=SI(ESN			=SI(	=SI(		1	=FEM!H5
5	1	2	2	75	=SI(ESN=F5	=SI(ESNUMERO(G6),G6*BUSCARV(D6,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		2	=FEM!H6
6	3	1	3	90	=SI(ESN=F6	=SI(ESNUMERO(G7),G7*BUSCARV(D7,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		3	=FEM!H7
7	4	1	4	80	=SI(ESN=F7	=SI(ESNUMERO(G8),G8*BUSCARV(D8,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		4	=FEM!H8
8	5	1	5	55	=SI(ESN=F8	=SI(ESNUMERO(G9),G9*BUSCARV(D9,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		5	=FEM!H9
9	6	1	6	70	=SI(ESN=F9	=SI(ESNUMERO(G10),G10*BUSCARV(D10,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		6	=FEM!H10
10	7	1	7	95	=SI(ESN=F10	=SI(ESNUMERO(G11),G11*BUSCARV(D11,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		7	=FEM!H11
11	8	1	8	85	=SI(ESN=F11	=SI(ESNUMERO(G12),G12*BUSCARV(D12,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		8	=FEM!H12
12	9	1	9	50	=SI(ESN=F12	=SI(ESNUMERO(G13),G13*BUSCARV(D13,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		9	=FEM!H13
13	10	1	10	65	=SI(ESN=F13	=SI(ESNUMERO(G14),G14*BUSCARV(D14,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		10	=FEM!H14
14	11	1	11	85	=SI(ESN=F14	=SI(ESNUMERO(G15),G15*BUSCARV(D15,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		11	=FEM!H15
15	12	1	12	75	=SI(ESN=F15	=SI(ESNUMERO(G16),G16*BUSCARV(D16,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(		12	=FEM!H16
16	13	2	1	64	=SI(ESN=F16	=SI(ESNUMERO(G17),G17*BUSCARV(D17,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(			
17	14	2	2	79	=SI(ESN=F17	=SI(ESNUMERO(G18),G18*BUSCARV(D18,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(			
18	15	2	3	94	=SI(ESN=F18	=SI(ESNUMERO(G19),G19*BUSCARV(D19,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(			
19	16	2	4	83	=SI(ESN=F19	=SI(ESNUMERO(G20),G20*BUSCARV(D20,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(			
20	17	2	5	60	=SI(ESN=F20	=SI(ESNUMERO(G21),G21*BUSCARV(D21,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")		=SI(	=SI(			

Figura 22. Plantilla para cálculo de pronósticos con último dato agregando estacionalidad mensual (columna H)

El cálculo del pronóstico de último dato con estacionalidad se ejemplifica con la evaluación de la celda H8 de la plantilla que se muestra en la figura 22, con la fórmula descrita en la figura 23. Primero, se evalúa con la fórmula de Excel® “ESNUMERO”, que exista el pronóstico de último dato para agregar estacionalidad. Al confirmar que exista ese valor, se calcula el producto del valor pronosticado por el factor estacional. El factor estacional se asigna con la función de Excel®: BUSCARV, cuyo objetivo es arrojar el factor estacional de abril.

=SI(ESNUMERO(G8),G8*BUSCARV(D8,\$L\$5:\$M\$16,2,FALSO),"")

Aseguramos que exista un pronóstico calculado para agregar la estacionalidad

$X_t * C_i$

Ubicación de la tabla de factores estacionales

Número de mes

Segunda columna de la tabla de factores estacionales

Figura 23. Fórmula en Excel® para cálculo de pronóstico con estacionalidad

2.3 Método de promedio simple con estacionalidad mensual

Esta plantilla está construida desde el enfoque del análisis de series de tiempo por descomposición. Para el análisis de una serie, primero se le quita su estacionalidad mediante la división del valor observado entre el factor estacional y para convertirla en una serie sin estacionalidad. En la plantilla de Excel® se calcula el valor observado sin estacionalidad utilizando la fórmula (10) en la columna F, a partir de la celda F6 hasta la celda F76 (véase la figura 24).

Posteriormente, se aplica el método de pronósticos de promedio simple, esto es, calcular el promedio de los valores observados de los periodos anteriores, asignando el mismo peso relativo a cada uno. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico con promedio simple con la fórmula (2), en la columna G, a partir de las celdas G6 a F76 (véase la figura 24).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Período	Año	Mes	Valor observado	Datos sin estacionalidad	Pronóstico de promedio simple	Pronóstico de promedio simple con	Error de	% de Error		Mes	Estimación del factor estacional
4												
5	1	1	1	60	=SI(ESNUMERO		=SI(ESNUMERO(G5),G5*B	=SI(Y	=SI(ESN		1	=FEM!H5
6	2	1	2	75	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E5),PROMEDIO(\$F\$5:F5),"")	=SI(ESNUMERO(G6),G6*B	=SI(Y	=SI(ESN		2	=FEM!H6
7	3	1	3	90	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E6),PROMEDIO(\$F\$5:F6),"")	=SI(ESNUMERO(G7),G7*B	=SI(Y	=SI(ESN		3	=FEM!H7
8	4	1	4	80	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E7),PROMEDIO(\$F\$5:F7),"")	=SI(ESNUMERO(G8),G8*B	=SI(Y	=SI(ESN		4	=FEM!H8
9	5	1	5	55	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E8),PROMEDIO(\$F\$5:F8),"")	=SI(ESNUMERO(G9),G9*B	=SI(Y	=SI(ESN		5	=FEM!H9
10	6	1	6	70	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E9),PROMEDIO(\$F\$5:F9),"")	=SI(ESNUMERO(G10),G10*B	=SI(Y	=SI(ESN		6	=FEM!H10
11	7	1	7	95	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E10),PROMEDIO(\$F\$5:F10),"")	=SI(ESNUMERO(G11),G11*B	=SI(Y	=SI(ESN		7	=FEM!H11
12	8	1	8	85	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E11),PROMEDIO(\$F\$5:F11),"")	=SI(ESNUMERO(G12),G12*B	=SI(Y	=SI(ESN		8	=FEM!H12
13	9	1	9	50	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E12),PROMEDIO(\$F\$5:F12),"")	=SI(ESNUMERO(G13),G13*B	=SI(Y	=SI(ESN		9	=FEM!H13
14	10	1	10	65	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E13),PROMEDIO(\$F\$5:F13),"")	=SI(ESNUMERO(G14),G14*B	=SI(Y	=SI(ESN		10	=FEM!H14
15	11	1	11	85	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E14),PROMEDIO(\$F\$5:F14),"")	=SI(ESNUMERO(G15),G15*B	=SI(Y	=SI(ESN		11	=FEM!H15
16	12	1	12	75	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E15),PROMEDIO(\$F\$5:F15),"")	=SI(ESNUMERO(G16),G16*B	=SI(Y	=SI(ESN		12	=FEM!H16
17	13	2	1	64	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E16),PROMEDIO(\$F\$5:F16),"")	=SI(ESNUMERO(G17),G17*B	=SI(Y	=SI(ESN			
18	14	2	2	79	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E17),PROMEDIO(\$F\$5:F17),"")	=SI(ESNUMERO(G18),G18*B	=SI(Y	=SI(ESN			
19	15	2	3	94	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E18),PROMEDIO(\$F\$5:F18),"")	=SI(ESNUMERO(G19),G19*B	=SI(Y	=SI(ESN			
20	16	2	4	83	=SI(ESNUMERO	=SI(ESNUMERO(E19),PROMEDIO(\$F\$5:F19),"")	=SI(ESNUMERO(G20),G20*B	=SI(Y	=SI(ESN			
	<	>	...	FEM	UDM	PSM	PMM	SESM	SEW	Resumen	+	:

Figura 24. Plantilla para cálculo de pronósticos con promedio simple agregando estacionalidad mensual (columna G)

Para terminar con el análisis del pronóstico de promedio simple con estacionalidad, se agrega la estacionalidad mediante el producto del factor estacional del mes correspondiente. En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de promedio simple con estacionalidad con la fórmula (11) en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 24).

2.4 Método de promedio móvil con estacionalidad mensual

Esta plantilla está construida desde el enfoque del análisis de series de tiempo por descomposición. Para el análisis de una serie primero se le quita su estacionalidad mediante la división del valor observado entre el factor estacional y para convertirla en una serie sin estacionalidad. En la plantilla de Excel® se calcula el valor observado sin estacionalidad utilizando la fórmula (11) en la columna F, a partir de la celda F6 hasta la celda F76 (véase la figura 25).

Posteriormente, se aplica el método de pronósticos de promedio móvil, esto es, promediando los valores observados de los periodos recientes. El promedio se “mueve” en el tiempo en el sentido de que, al transcurrir un periodo, el valor observado del periodo más antiguo se descarta, y se agrega el valor más reciente. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico con promedio móvil con la fórmula (3), en la columna G, a partir de las celdas G6 a F76 (véase la figura 25).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Per iod	Año	Mes	Valor observado	Datos sin	Pronóstico de promedio móvil	Pron óstico	Err or	% de		Mes	Estimación del factor			
5	1	1	1	60	=SI(ESN						1	=FEM1H5			
6	2	1	2	75	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E5)),FIL(A(G6)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F6,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						2	=FEM1H6			
7	3	1	3	90	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E6)),FIL(A(G7)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F7,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						3	=FEM1H7			
8	4	1	4	80	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E7)),FIL(A(G8)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F8,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						4	=FEM1H8			
9	5	1	5	55	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E8)),FIL(A(G9)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F9,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						5	=FEM1H9			
10	6	1	6	70	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E9)),FIL(A(G10)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F10,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						6	=FEM1H10			
11	7	1	7	95	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E10)),FIL(A(G11)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F11,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						7	=FEM1H11			
12	8	1	8	85	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E11)),FIL(A(G12)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F12,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						8	=FEM1H12			
13	9	1	9	50	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E12)),FIL(A(G13)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F13,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						9	=FEM1H13			
14	10	1	10	65	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E13)),FIL(A(G14)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F14,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						10	=FEM1H14			
15	11	1	11	85	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E14)),FIL(A(G15)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F15,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						11	=FEM1H15			
16	12	1	12	75	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E15)),FIL(A(G16)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F16,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))						12	=FEM1H16			
17	13	2	1	64	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E16)),FIL(A(G17)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F17,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))										
18	14	2	2	79	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E17)),FIL(A(G18)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F18,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))										
19	15	2	3	94	=SI(ESN+SI(O(NQ(ESNUMERO(E18)),FIL(A(G19)-4<=\$P\$11),"" ,PROMEDIO(DESREF(F19,\$P\$11.0,\$P\$11.1)))										

Figura 25. Plantilla para cálculo de pronósticos con promedio móvil agregando estacionalidad mensual (columna G)

En la plantilla se permite variar los valores a promediar modificando el valor ingresado en la celda P11 de la plantilla mostrada en la figura 25. Particularmente, en la figura se muestra que en la celda P11 aparece el valor de 2, por lo cual el promedio móvil se calcula para dos periodos.

Para finalizar el análisis del pronóstico de promedio móvil con estacionalidad, se agrega la estacionalidad mediante el producto del factor estacional del mes correspondiente. En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de promedio móvil con estacionalidad con la fórmula 12 en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 25).

2.5 Método de suavizado exponencial simple con estacionalidad mensual

Esta plantilla está construida desde el enfoque del análisis de series de tiempo por descomposición. Para el análisis de una serie, primero se le quita su estacionalidad mediante la división del valor observado entre el factor estacional, para convertirla en una serie sin estacionalidad. En la plantilla de Excel® se calcula el valor observado sin estacionalidad utilizando la fórmula 11 en la columna F, a partir de la celda F6 hasta la celda F76 (véase la figura 26).

Posteriormente, se aplica el método de suavizado exponencial simple, mediante la ponderación del último valor observado sin estacionalidad y sumando el complemento a uno de esta ponderación al último pronóstico calculado sin estacionalidad para el mismo periodo. La ponderación corresponde a la constante de suavizamiento y en la fórmula se conoce como alfa (α). En la plantilla de Excel® se calcula el método de suavizado exponencial simple utilizando la fórmula 4, en la columna G, a partir de las celdas G6 a F76 (véase la figura 26). El valor de alfa (α), se ingresa en la celda P11 de la plantilla de la figura 26. El valor inicial del pronóstico por suavizado exponencial simple se considera el mismo valor observado del periodo 1 sin estacionalidad. Sin embargo, si se desea modificar la estimación inicial, se puede hacer el cambio en la celda P14 de la plantilla de la figura 26.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
4	Período	Año	Mes	Valor observado	Datos sin	Pronóstico con suavizado exponencial simple	Pronóstico con suavizado	Error	% de		Mes	Estimación del factor			
5	1	1	1	60	=SI(ESN	=SI(ESN					1	=FEM!H5		Desviación absoluta media	IAD
6	2	1	2	75	=SI(ESN	=SI(ESN					2	=FEM!H6		Error cuadrado medio	ISE
7	3	1	3	90	=SI(ESN	=SI(ESN					3	=FEM!H7		Error porcentual absoluto medio	IAPE
8	4	1	4	80	=SI(ESN	=SI(ESN					4	=FEM!H8			
9	5	1	5	55	=SI(ESN	=SI(ESN					5	=FEM!H9			
10	6	1	6	70	=SI(ESN	=SI(ESN					6	=FEM!H10		Constante de suavizado	
11	7	1	7	95	=SI(ESN	=SI(ESN					7	=FEM!H11		$\alpha =$	0.9
12	8	1	8	85	=SI(ESN	=SI(ESN					8	=FEM!H12		Estimación inicial	
13	9	1	9	50	=SI(ESN	=SI(ESN					9	=FEM!H13		F1=	=F5
14	10	1	10	65	=SI(ESN	=SI(ESN					10	=FEM!H14			
15	11	1	11	85	=SI(ESN	=SI(ESN					11	=FEM!H15			
16	12	1	12	75	=SI(ESN	=SI(ESN					12	=FEM!H16			
17	13	2	1	64	=SI(ESN	=SI(ESN									
18	14	2	2	79	=SI(ESN	=SI(ESN									
19	15	2	3	94	=SI(ESN	=SI(ESN									
20	16	2	4	83	=SI(ESN	=SI(ESN									

Figura 26. Plantilla para cálculo de pronósticos con suavizado exponencial simple con estacionalidad mensual (columna G)

Para efectuar el análisis del pronóstico de suavizado exponencial simple con estacionalidad, se agrega la estacionalidad mediante el producto del factor estacional del mes correspondiente. En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de promedio simple con estacionalidad con la fórmula 11, en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 26).

2.6 Método de suavizado exponencial de Winters

El método de suavizado exponencial de Winters considera una metodología semejante al suavizamiento exponencial doble, a la cual agrega el análisis de datos estacionales junto con datos que tengan una tendencia. Este método se basa en tres ecuaciones, cada una asociada con uno de los tres componentes del patrón (aleatoriedad, tendencia y estacionalidad). Como estamos trabajando con meses, el número de estaciones es igual a 12. Para la notación del método de suavizado exponencial de Winters, $L = 12$. Las ponderaciones corresponden a la constante de suavizamiento del patrón constante (α), constante de suavizado del patrón tendencial (β) y constante de suavizado del patrón estacional (γ). Los valores de alfa, beta y gamma deben estar entre cero y uno.

Para evaluar el suavizado de patrón de comportamiento constante se suma el producto de la ponderación (α) por el cociente del valor observado del periodo a suavizar dividido entre el factor estacional del periodo en la

estación anterior (X_t/C_{t-L}); más el complemento a uno de esta ponderación $(1-\alpha)$, multiplicado por la suma del último suavizado del patrón constante del periodo anterior (S_{t-1}) y del último suavizado del patrón tendencial del periodo anterior (B_{t-1}). En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado de patrón constante con la fórmula (12) en la columna F, a partir de la celda F6 hasta la celda F76 (véase la figura 27).

$$S_t = \alpha * (X_t/C_{t-L}) + (1 - \alpha) * (S_{t-1} + B_{t-1}) \quad (12)$$

Donde:

S_t Suavizado del patrón constante del periodo actual

α Constante de suavizado del patrón constante

X_t Valor observado en el periodo t

C_{t-L} Factor estacional del periodo en la estación anterior

S_{t-1} Suavizado del patrón constante del periodo anterior

B_{t-1} Suavizado del patrón tendencial del periodo anterior

L Número de estaciones, al ser mensual su valor es igual a 12

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
4	Per iod	Año	Mes	Valor obser St		Bt	Ct	Pronó stico	Err or	% de		Mes	Estimación del factor			
5	1	1	1	60	=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$11*(E5/BUSCARV(D5,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(Q16+Q17),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	1	=FEMI1H5	Desviación absoluta media	MAD =	
6	2	1	2	75	=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$11*(E6/BUSCARV(D6,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F5+G5),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	2	=FEMI1H6	Error cuadrado medio	MSE =	
7	3	1	3	90	=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$11*(E7/BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F6+G6),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	3	=FEMI1H7	Error porcentual absoluto medio	MAPE =	
8	4	1	4	80	=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$11*(E8/BUSCARV(D8,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F7+G7),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	4	=FEMI1H8			
9	5	1	5	55	=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$11*(E9/BUSCARV(D9,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F8+G8),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	5	=FEMI1H9			
10	6	1	6	70	=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$11*(E10/BUSCARV(D10,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F9+G9),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	6	=FEMI1H10	Constantes de suavizado		
11	7	1	7	95	=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$11*(E11/BUSCARV(D11,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F10+G10),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	7	=FEMI1H11	$\alpha =$	0.1	
12	8	1	8	85	=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$11*(E12/BUSCARV(D12,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F11+G11),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	8	=FEMI1H12	$\beta =$	0.1	
13	9	1	9	50	=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$11*(E13/BUSCARV(D13,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F12+G12),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	9	=FEMI1H13	$\gamma =$	0.1	
14	10	1	10	65	=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$11*(E14/BUSCARV(D14,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F13+G13),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	10	=FEMI1H14	Estimación inicial		
15	11	1	11	85	=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$11*(E15/BUSCARV(D15,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F14+G14),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	11	=FEMI1H15	$S_t =$	=PROMEDI	
16	12	1	12	75	=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$11*(E16/BUSCARV(D16,\$M\$5:\$N\$16,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F15+G15),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	12	=FEMI1H16	$B_t =$	=PENDIENT	
17	13	2	1	64	=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$11*(E17/H5))+(1-\$Q\$11)*(F16+G16),")	=SI((=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(					

Figura 27. Plantilla para cálculo de suavizado de patrón constante mensual (columna F)

El cálculo de suavizado de patrón constante se ejemplifica con la evaluación de la celda F7 de la plantilla que se muestra en la figura 27, con la fórmula descrita en la figura 28.

$$=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$11*(E7/BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$16,2,0))+(1-\$Q\$11)*(F6+G6), "")$$

$\alpha * (X_t / C_{t-L})$

$(1 - \alpha) * (S_{t-1} + B_{t-1})$

Aseguramos que exista un valor observado en el período

Figura 28. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón constante mensual

Para evaluar el suavizado de patrón tendencial se suma el producto de la ponderación (β) por la diferencia del suavizado del patrón constante del mismo periodo (S_t) menos el suavizado del patrón constante del periodo anterior ($-S_{t-1}$); más el complemento a uno de esta ponderación ($1 - \beta$), multiplicado por el último suavizado del patrón tendencial (B_{t-1}). En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado de patrón tendencial con la fórmula (13) en la columna G, a partir de la celda G6 hasta la celda G76 (véase la figura 29).

$$B_t = \beta * (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) * (B_{t-1}) \quad (13)$$

Donde:

- B_t Suavizado del patrón tendencial del periodo actual
- β Constante de suavizado del patrón tendencial
- S_t Suavizado del patrón constante del periodo actual
- S_{t-1} Suavizado del patrón constante del periodo anterior
- B_{t-1} Suavizado del patrón tendencial del periodo anterior

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Per iod	Año	Mes	Valor obser	St	Bt	Ct	Pronó stico	Err or	% de		Mes	Estimación del factor			
5	1	1	1	60	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,"")	1	=FEM!H5		Desviación absoluta media	MAD =
6	2	1	2	75	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,"")	2	=FEM!H6		Error cuadrado medio	MSE =
7	3	1	3	90	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")	3	=FEM!H7		Error porcentual absoluto medio	MAPE =
8	4	1	4	80	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,"")	4	=FEM!H8			
9	5	1	5	55	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,"")	5	=FEM!H9			
10	6	1	6	70	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,"")	6	=FEM!H10			
11	7	1	7	95	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,"")	7	=FEM!H11			
12	8	1	8	85	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,"")	8	=FEM!H12			
13	9	1	9	50	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,"")	9	=FEM!H13			
14	10	1	10	65	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,"")	10	=FEM!H14			
15	11	1	11	85	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,"")	11	=FEM!H15			
16	12	1	12	75	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,"")	12	=FEM!H16			
17	13	2	1	64	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,"")	=SI(ES=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,"")					

Figura 29. Plantilla para el cálculo de suavizado de patrón tendencial mensual (columna G)

El cálculo de suavizado de patrón tendencial se ejemplifica con la evaluación de la celda G7 de la plantilla que se muestra en la figura 29, con la fórmula descrita en la figura 30.

$$=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,"")$$

$\beta * (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) * (B_{t-1})$

Aseguramos que
exista un valor
observado en el
período

Figura 30. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón tendencial mensual

Para evaluar el suavizado del patrón estacional se suma el producto de la ponderación (γ) por el cociente del valor observado del periodo a suavizar dividido entre el suavizado del mismo período (X_t/S_t); más el complemento a uno de esta ponderación ($1 - \gamma$), multiplicado por el factor estacional del periodo en la estación anterior (C_{t-L}). En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado de patrón estacional con la fórmula (14) en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 31).

$$C_t = \gamma * (X_t/S_t) + (1 - \gamma) * (C_{t-L}) \quad (14)$$

Donde:

- C_t Factor estacional del periodo actual
- γ Constante de suavizado estacional
- X_t Valor observado en el periodo t
- S_t Suavizado del patrón constante del mismo periodo
- C_{t-L} Factor estacional del periodo en la estación anterior

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
4	Per iod	Año	Mes	Valor obser	St	Bt	Ct	Prono stico	Err or	% de	Mes	Estimación del factor				
5	1	1	1	60	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E5),\$Q\$13*(E5/F5)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D5,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		1	=FEMIH5	Desviación absoluta media	MAD =		
6	2	1	2	75	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E6),\$Q\$13*(E6/F6)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D6,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		2	=FEMIH6	Error cuadrado medio	MSE =		
7	3	1	3	90	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$13*(E7/F7)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		3	=FEMIH7	Error porcentual absoluto medio	MAPE =		
8	4	1	4	80	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E8),\$Q\$13*(E8/F8)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D8,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		4	=FEMIH8				
9	5	1	5	55	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E9),\$Q\$13*(E9/F9)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D9,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		5	=FEMIH9				
10	6	1	6	70	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E10),\$Q\$13*(E10/F10)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D10,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		6	=FEMIH10	Constantes de suavizado			
11	7	1	7	95	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E11),\$Q\$13*(E11/F11)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D11,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		7	=FEMIH11	α =	0.1		
12	8	1	8	85	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E12),\$Q\$13*(E12/F12)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D12,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		8	=FEMIH12	β =	0.1		
13	9	1	9	50	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E13),\$Q\$13*(E13/F13)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D13,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		9	=FEMIH13	γ =	0.1		
14	10	1	10	65	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E14),\$Q\$13*(E14/F14)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D14,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		10	=FEMIH14				
15	11	1	11	85	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E15),\$Q\$13*(E15/F15)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D15,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		11	=FEMIH15	Estimación inicial			
16	12	1	12	75	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E16),\$Q\$13*(E16/F16)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D16,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E		12	=FEMIH16	S_t =	=PROMEDIO		
17	13	2	1	64	=SI(ES+SI(E	=SI(ESNUMERO(E17),\$Q\$13*(E17/F17)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D17,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))			=SI(ES+SI(E				B_t =	=PENDIENTE		
< > ... FEM UDM PSM PMM SESM SEW Resumen + :																

Figura 31. Plantilla para el cálculo de suavizado de patrón estacional mensual (columna H)

El cálculo de suavizado de patrón estacional se ejemplifica con la evaluación de la celda H7 de la plantilla que se muestra en la figura 31, con la fórmula descrita en la figura 32.

$$=SI(ESNUMERO(E7),\$Q\$13*(E7/F7)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$16,2,0),""))$$

$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$
 $\gamma * (X_t / S_t) + (1 - \gamma) * (C_{t-L})$

Aseguramos que exista un valor observado en el período

Figura 32. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón estacional mensual

El pronóstico de suavizado exponencial de Winters se calcula sumando el suavizado de patrón de comportamiento constante (S_t), más k -periodos el valor del suavizado del patrón de comportamiento tendencial (B_t) y a la suma se le multiplica el factor estacional correspondiente al periodo de la estación anterior (C_{t+k-L}).

En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de suavizado exponencial de Winters con la fórmula 15 en la columna I, a partir de la celda I6 hasta la celda I76 (véase la figura 33).

$$F_{t+k} = (S_t + k * B_t) * (C_{t+k-L}) \quad (15)$$

Donde:

F_{t+k} Pronóstico con suavizado exponencial de Winters para el periodo $t + k$

S_t Suavizado del patrón constante del mismo periodo

k Número de periodos futuros a pronosticar

B_t Suavizado del patrón tendencial del periodo anterior

C_{t+k-L} Factor estacional del periodo en la estación anterior

El valor de la constante de suavizado del patrón constante o alfa (α) se ingresa en la celda Q11, el valor de beta (β) se ingresa en la celda Q12, el valor de gamma (γ) se ingresa en la celda Q13, el valor inicial de la B_1 es el cálculo de la pendiente de los valores (si se desea modificar el valor se debe ingresar el cambio en la celda Q17), el valor de S_1 es el traslado del promedio de los datos a periodo 0 (si se desea modificar el valor se ingresa en la celda Q16 de la plantilla ilustrada en la figura 33).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
4	Per iod	Año	Mes	Valor obser	St	Bt	Ct	Pronóstico con Suavizamiento exponencial de Winters	Err or	% de		Mes	Estimación del factor			
5	1	1	1	60	=SI(	=SI(	=SI(		=SI(	=SI(		1	=FEM!H5		Desviación absoluta media	MAD =
6	2	1	2	75	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E5),(F5+G5)*BUSCARV(D6,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		2	=FEM!H6		Error cuadrado medio	MSE =
7	3	1	3	90	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E6),(F6+G6)*BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		3	=FEM!H7		Error porcentual absoluto medio	MAPE =
8	4	1	4	80	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E7),(F7+G7)*BUSCARV(D8,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		4	=FEM!H8			
9	5	1	5	55	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E8),(F8+G8)*BUSCARV(D9,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		5	=FEM!H9			
10	6	1	6	70	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E9),(F9+G9)*BUSCARV(D10,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		6	=FEM!H10		Constantes de suavizado	
11	7	1	7	95	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E10),(F10+G10)*BUSCARV(D11,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		7	=FEM!H11		α =	0.1
12	8	1	8	85	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E11),(F11+G11)*BUSCARV(D12,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		8	=FEM!H12		β =	0.1
13	9	1	9	50	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E12),(F12+G12)*BUSCARV(D13,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		9	=FEM!H13		γ =	0.1
14	10	1	10	65	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E13),(F13+G13)*BUSCARV(D14,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		10	=FEM!H14			
15	11	1	11	85	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E14),(F14+G14)*BUSCARV(D15,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		11	=FEM!H15		Estimación inicial	
16	12	1	12	75	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E15),(F15+G15)*BUSCARV(D16,\$M\$5:\$N\$16,2,0),"")	=SI(	=SI(		12	=FEM!H16		S_1 =	=PROMEDIO
17	13	2	1	64	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E16),(F16+G16)*BUSCARV(D17,D5:H16,5,FALSO),"")	=SI(	=SI(					B_1 =	=PENDIENTE
18	14	2	2	79	=SI(	=SI(	=SI(	=SI(ESNUMERO(E17),(F17+G17)*BUSCARV(D18,D6:H17,5,FALSO),"")	=SI(	=SI(						

Figura 33. Plantilla para cálculo de suavizado exponencial de Winters con estacionalidad mensual

El cálculo de suavizado exponencial de Winters se ejemplifica con la evaluación de la celda I7 de la plantilla que se muestra en la figura 33, con la fórmula descrita en la figura 34. Como el análisis se hace para un periodo $k = 1$, el valor de k se omite de la fórmula.

$$=SI(ESNUMERO(E6), (F6+G6)*BUSCARV(D7, \$M\$5:\$N\$16, 2, 0), "")$$

$(S_t + B_t) * (C_{t+k-L})$

Aseguramos que exista un valor observado en el período anterior

Figura 34. Fórmula en Excel® para cálculo de pronóstico con suavizado exponencial de Winters con estacionalidad mensual

2.7 Conclusiones de la práctica 2 con estacionalidad mensual

En esta práctica se revisaron los métodos de pronósticos que permiten describir el patrón de comportamiento estacional mensual de la demanda. Como el análisis del modelo está construido por descomposición, significa que para realizar el pronóstico, algunos métodos descomponen el patrón estacional al quitar la estacionalidad de la serie, posteriormente se aplica un método de pronóstico sencillo (como último dato, promedio simple, entre otros), para finalmente agregar la estacionalidad y obtener un comportamiento de la serie ajustada al patrón estacional.

Análisis de la práctica 2.

Pronóstico con patrón estacional. Periodo trimestral

En este apartado se describirá el uso de la herramienta desarrollada en la plantilla de Excel® donde se programaron los algoritmos para resolver la práctica 2 con estacionalidad trimestral. La primera hoja presenta la introducción al uso de la plantilla (véase la figura 35).

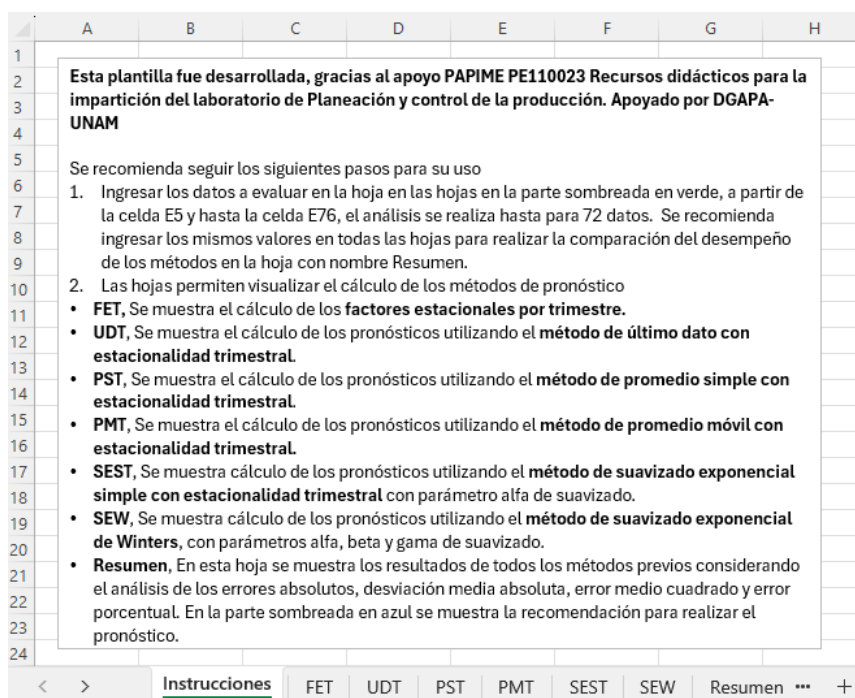


Figura 35. Instrucciones de la práctica 2, estacionalidad trimestral

3.1 Factores estacionales por trimestre

La estacionalidad en esta plantilla analiza patrones de comportamiento que se repiten cada trimestre. El objetivo de la plantilla de factores estacionales

trimestrales (FET) es promediar los valores observados de cada trimestre y dividirlos entre el promedio de todos los datos.

En la plantilla de Excel® se calcula el factor estacional trimestral con la fórmula (15) a partir de la celda H5 y hasta la celda H16 (véase la figura 36).

$$C_i = \frac{\left(\frac{\sum_{j=1}^{j=18} X_{\text{trimestre } i \text{ año } j}}{18} \right)}{\left(\frac{\sum_{j=1}^{j=18} \sum_{i=1}^{i=4} X_{\text{trimestre } i \text{ año } j}}{72} \right)} \quad (15)$$

Donde:

C_i Es la estacionalidad del trimestre i , donde
 $i = 1, 2, 3$ y 4 trimestres.

$X_{\text{trimestre } i \text{ año } j}$ Es el valor observado en el trimestre i y año j .

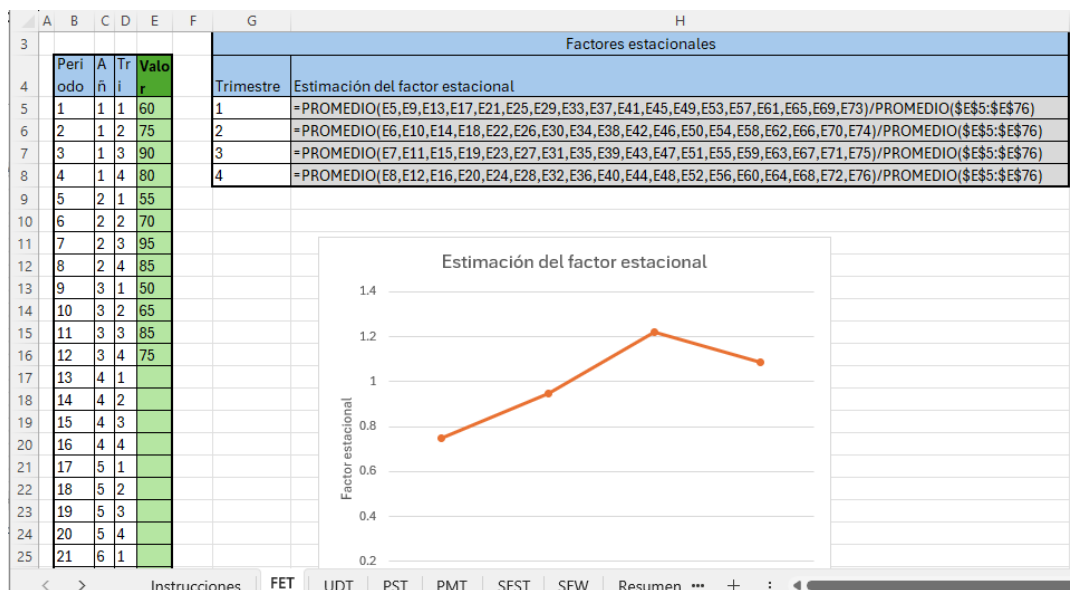


Figura 36. Fórmula para cálculo de factores estacionales trimestrales

El cálculo del factor estacional trimestral se ejemplifica con la evaluación de la celda H6 de la plantilla que se muestra en la figura 36, con la fórmula descrita en la figura 37. El factor estacional que se calcula corresponde al

segundo trimestre del año o $i = 2$, es decir, se evalúa promediando el segundo trimestre ($i = 2$) de los dieciocho años que se evalúan en la plantilla (desde el año $j = 1$ al año $j = 18$), entre el promedio de los valores registrados en la plantilla, es decir, del primer trimestre del primer año ($i = 1, j = 1$), hasta el último trimestre del año dieciocho ($i = 12, j = 18$).

$$\text{=PROMEDIO(E6,E10,E14,E18,E22,E26,E30,E34,E38,E42,E46,E50,E54,E58,E62,E66,E70,E74)/PROMEDIO(\$E\$5:\$E\$76)}$$

$$\text{PROMEDIO}(X_{2,1}, X_{2,2}, X_{2,3}, X_{2,4}, X_{2,5}, X_{2,6}, X_{2,7}, X_{2,8}, X_{2,9}, X_{2,10}, X_{2,11}, X_{2,12}, X_{2,13}, X_{2,14}, X_{2,15}, X_{2,16}, X_{2,17}, X_{2,18}) / \text{PROMEDIO}(X_{i=1,j=1} : X_{i=4,j=18})$$

Figura 37. Fórmula en Excel® para cálculo de factor estacional trimestral

3.2 Método de último dato con estacionalidad trimestral

Esta plantilla está construida desde el enfoque del análisis de series de tiempo por descomposición. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico con último dato con estacionalidad con la fórmula (9), utilizando factores estacionales por trimestre.

Para el análisis de una serie con descomposición, se debe eliminar la estacionalidad mediante la división del valor observado entre el factor estacional. En la plantilla de Excel® se calcula la serie sin estacionalidad con la fórmula (10), utilizando factores estacionales trimestrales en la columna F, a partir de la celda F5 hasta la celda F76 (véase la figura 38).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Período	Año	Trimestre	Valor observado	Datos sin estacionalidad	Pronóstico	Pro	Err	% de		Trimestre	Estimación del factor estacional
4	1	1	1	60	=SI(ESNUMERO(E5),E5/BUSCARV(D5,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F5	=SI(	=SI(	=SI(		1	=FET!H5
5	2	1	2	75	=SI(ESNUMERO(E6),E6/BUSCARV(D6,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F6	=SI(	=SI(	=SI(		2	=FET!H6
6	3	1	3	90	=SI(ESNUMERO(E7),E7/BUSCARV(D7,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F7	=SI(	=SI(	=SI(		3	=FET!H7
7	4	1	4	80	=SI(ESNUMERO(E8),E8/BUSCARV(D8,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F8	=SI(	=SI(	=SI(		4	=FET!H8
8	5	2	1	55	=SI(ESNUMERO(E9),E9/BUSCARV(D9,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F9	=SI(	=SI(	=SI(			
9	6	2	2	70	=SI(ESNUMERO(E10),E10/BUSCARV(D10,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F10	=SI(	=SI(	=SI(			
10	7	2	3	95	=SI(ESNUMERO(E11),E11/BUSCARV(D11,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F11	=SI(	=SI(	=SI(			
11	8	2	4	85	=SI(ESNUMERO(E12),E12/BUSCARV(D12,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F12	=SI(	=SI(	=SI(			
12	9	3	1	50	=SI(ESNUMERO(E13),E13/BUSCARV(D13,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F13	=SI(	=SI(	=SI(			
13	10	3	2	65	=SI(ESNUMERO(E14),E14/BUSCARV(D14,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F14	=SI(	=SI(	=SI(			
14	11	3	3	85	=SI(ESNUMERO(E15),E15/BUSCARV(D15,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F15	=SI(	=SI(	=SI(			
15	12	3	4	75	=SI(ESNUMERO(E16),E16/BUSCARV(D16,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=F16	=SI(	=SI(	=SI(			
16	13	4	1		=SI(ESNUMERO(E17),E17/BUSCARV(D17,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")							

Figura 38. Plantilla para cálculo de valores observados sin estacionalidad (columna F)

El cálculo del dato sin estacionalidad se ejemplifica con la evaluación de la celda F7 de la plantilla que se muestra en la figura 38, con la fórmula descrita en la figura 39. Primero, se evalúa con la fórmula de Excel® “ESNUMERO”, que exista un valor observado al que se requiera eliminar la estacionalidad. Al confirmar que exista ese valor, se calcula el cociente del valor observado entre el factor estacional. El factor estacional se asigna con la función de Excel®: BUSCARV, cuyo objetivo es arrojar el valor que se encuentre en el renglón ubicado en la celda D7 (donde se encuentra el valor de 3 o tercer trimestre), ubicado en la tabla de factores estacionales mensuales que se encuentran entre las celdas L5 a M8, y se selecciona la columna 2, para finalmente desplegar el factor estacional del tercer trimestre.

$$=SI(ESNUMERO(E7), E7/BUSCARV(D7, \$L\$5:\$M\$8, 2, FALSO), "")$$

X_t/C_i
 Aseguramos que exista un valor observado al que se requiera quitar la estacionalidad
 Ubicación de la tabla de factores estacionales
 Número de trimestre
 Segunda columna de la tabla de factores estacionales

Figura 39. Fórmula en Excel® para cálculo de valores observados sin estacionalidad

Posteriormente, se aplica el método de pronósticos con último dato, esto es, se calcula el valor pronosticado para el periodo actual igual al valor observado en el periodo anterior. En la plantilla de Excel® se calcula el método de pronóstico de último dato con la fórmula (1), en la columna G, a partir de las celdas G6 a G76 (véase la figura 40).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Perio do	Año	Trim estre	Valor observado	Dato s sin	Pronóstico de último dato	Pro nó	Err or	% de		Trimestre	Estimación del factor estacional
4	1	1	1	60	=SI(E5		=SI(I5	=SI(I5	=SI(I5		1	=FET!H5
5	2	1	2	75	=SI(E5	=F5		=SI(I5	=SI(I5		2	=FET!H6
6	3	1	3	90	=SI(E5	=F6		=SI(I5	=SI(I5		3	=FET!H7
7	4	1	4	80	=SI(E5	=F7		=SI(I5	=SI(I5		4	=FET!H8
8	5	2	1	55	=SI(E5	=F8		=SI(I5	=SI(I5			
9	6	2	2	70	=SI(E5	=F9		=SI(I5	=SI(I5			
10	7	2	3	95	=SI(E5	=F10		=SI(I5	=SI(I5			
11	8	2	4	85	=SI(E5	=F11		=SI(I5	=SI(I5			
12	9	3	1	50	=SI(E5	=F12		=SI(I5	=SI(I5			
13	10	3	2	65	=SI(E5	=F13		=SI(I5	=SI(I5			
14	11	3	3	85	=SI(E5	=F14		=SI(I5	=SI(I5			
15	12	3	4	75	=SI(E5	=F15		=SI(I5	=SI(I5			
16	13	4	1		=SI(E5	=F16		=SI(I5	=SI(I5			

Método de pronóstico

120
100

Figura 40. Plantilla para cálculo de pronóstico de último dato (columna G)

Para finalizar el análisis del pronóstico de último dato con estacionalidad, se agrega la estacionalidad mediante el producto del factor estacional del trimestre correspondiente. En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de último dato con estacionalidad con la fórmula (11) en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 41).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Período	Año	Trimestre	Valor observado	Datos sin estacionalidad	Pronóstico	Pronóstico de último dato con estacionalidad trimestral	Error	% de error		Trimestre	Estimación del factor estacional
5	1	1	1	60	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G5),G5*BUSCARV(D5,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(				1	=FET!H5
6	2	1	2	75	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G6),G6*BUSCARV(D6,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(				2	=FET!H6
7	3	1	3	90	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G7),G7*BUSCARV(D7,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(				3	=FET!H7
8	4	1	4	80	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G8),G8*BUSCARV(D8,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(				4	=FET!H8
9	5	2	1	55	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G9),G9*BUSCARV(D9,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
10	6	2	2	70	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G10),G10*BUSCARV(D10,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
11	7	2	3	95	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G11),G11*BUSCARV(D11,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
12	8	2	4	85	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G12),G12*BUSCARV(D12,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
13	9	3	1	50	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G13),G13*BUSCARV(D13,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
14	10	3	2	65	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G14),G14*BUSCARV(D14,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
15	11	3	3	85	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G15),G15*BUSCARV(D15,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
16	12	3	4	75	=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G16),G16*BUSCARV(D16,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					
17	13	4	1		=SI(ESNUM	=SI(ESNUMERO(G17),G17*BUSCARV(D17,\$L\$5:\$M\$8,2,FALSO),"")	=SI(=SI(					

Figura 41. Plantilla para cálculo de pronósticos con último dato agregando estacionalidad trimestral (columna H)

El cálculo del pronóstico de último dato con estacionalidad se ejemplifica con la evaluación de la celda H7 de la plantilla que se muestra en la figura 41, con la fórmula descrita en la figura 42. Primero, se evalúa con la fórmula de Excel® “ESNUMERO”, que exista el pronóstico de último dato para agregar estacionalidad. Al confirmar que exista ese valor, se calcula el producto del valor pronóstico por el factor estacional. El factor estacional se asigna con la función de Excel®: BUSCARV, cuyo objetivo es arrojar el factor estacional del trimestre tercero.

$$=SI(ESNUMERO(G7),G7*BUSCARV(D7,L5:M8,2,FALSO),"")$$

Aseguramos que exista un pronóstico calculado para agregar la estacionalidad

$X_t * C_i$

Ubicación de la tabla de factores estacionales

Número de trimestre

Segunda columna de la tabla de factores estacionales

Figura 42. Fórmula en Excel® para cálculo de pronóstico con estacionalidad

del mes correspondiente. En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de promedio móvil con estacionalidad con la fórmula (11) en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 44).

3.5 Método de suavizado exponencial simple con estacionalidad trimestral

Esta plantilla está construida desde el enfoque del análisis de series de tiempo por descomposición. Para el análisis de una serie primero se le quita su estacionalidad mediante la división del valor observado entre el factor estacional, para convertirla en una serie sin estacionalidad. En la plantilla de Excel® se calcula el valor observado sin estacionalidad utilizando la fórmula (10) en la columna F, a partir de la celda F6 hasta la celda F76 (véase la figura 45).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Pe rio	Año	Tri m	Valor observado	Datos sin	Pronóstico con suavizado exponencial simple	Pron óstic	Erro r de	% de Error		Trimestre	Estimación del factor estacional			
4	1	1	1	60	=SI(ESN	=P14					1	=FET!H5		Desviación absoluta media	MAD =
5	1	1	2	75	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E5), \$P\$11*F5+(1-\$P\$11)*G5,"")					2	=FET!H6		Error cuadrado medio	MSE =
6	1	1	3	90	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E6), \$P\$11*F6+(1-\$P\$11)*G6,"")					3	=FET!H7		Error porcentual absoluto medio	MAPE =
7	1	1	4	80	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E7), \$P\$11*F7+(1-\$P\$11)*G7,"")					4	=FET!H8			
8	1	2	1	55	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E8), \$P\$11*F8+(1-\$P\$11)*G8,"")									
9	2	2	2	70	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E9), \$P\$11*F9+(1-\$P\$11)*G9,"")									
10	2	2	3	95	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E10), \$P\$11*F10+(1-\$P\$11)*G10,"")									
11	2	2	4	85	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E11), \$P\$11*F11+(1-\$P\$11)*G11,"")									
12	3	1	1	50	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E12), \$P\$11*F12+(1-\$P\$11)*G12,"")									
13	3	1	2	65	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E13), \$P\$11*F13+(1-\$P\$11)*G13,"")									
14	3	1	3	85	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E14), \$P\$11*F14+(1-\$P\$11)*G14,"")									
15	3	1	4	75	=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E15), \$P\$11*F15+(1-\$P\$11)*G15,"")									
16	3	2	1		=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E16), \$P\$11*F16+(1-\$P\$11)*G16,"")									
17	3	2	2		=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E17), \$P\$11*F17+(1-\$P\$11)*G17,"")									
18	3	2	3		=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E18), \$P\$11*F18+(1-\$P\$11)*G18,"")									
19	3	2	4		=SI(ESN	=SI(ESNUMERO(E19), \$P\$11*F19+(1-\$P\$11)*G19,"")									

Figura 45. Plantilla para cálculo de pronósticos con suavizado exponencial simple con estacionalidad trimestral (columna G)

Posteriormente, se aplica el método de suavizado exponencial simple, mediante la ponderación del último valor observado sin estacionalidad y sumando el complemento a uno de esta ponderación al último pronóstico calculado sin estacionalidad para el mismo periodo. La ponderación corresponde a la constante de suavizamiento y en la fórmula se conoce como alfa (α). En la plantilla de Excel® se calcula el método de suavizado exponencial simple utilizando la fórmula (4), en la columna G, a partir de las celdas G6 a F76 (véase la figura 45). El valor de alfa (α), se ingresa en la celda P11 de la

plantilla de la figura 45. El valor inicial del pronóstico por suavizado exponencial simple se considera el mismo valor observado del periodo 1 sin estacionalidad. Sin embargo, si se desea modificar la estimación inicial, se puede efectuar el cambio en la celda P14 de la plantilla de la figura 45.

Para llevar a cabo el análisis del pronóstico de suavizado exponencial simple con estacionalidad, se agrega la estacionalidad mediante el producto del factor estacional del mes correspondiente. En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de promedio simple con estacionalidad con la fórmula (11) en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 45).

3.6 Método de suavizado exponencial de Winters

El método de suavizado exponencial de Winters considera una metodología semejante al suavizamiento exponencial doble, a la cual agrega el análisis de datos estacionales junto con datos que tengan una tendencia. Este método se basa en tres ecuaciones, cada una asociada con uno de los tres componentes del patrón (aleatoriedad, tendencia y estacionalidad). Como estamos trabajando con trimestres, el número de estaciones es igual a 4. Para la notación del método de suavizado exponencial de Winters, $L = 4$. Las ponderaciones corresponden a la constante de suavizamiento del patrón constante (α), constante de suavizado del patrón tendencial (β) y constante de suavizado del patrón estacional (γ). Los valores de alfa, beta y gamma deben estar entre cero y uno.

Para evaluar el suavizado de patrón de comportamiento constante se suma el producto de la ponderación (α) por el cociente del valor observado del periodo a suavizar dividido entre el factor estacional del periodo en la estación anterior (X_t/C_{t-L}); más el complemento a uno de esta ponderación ($1 - \alpha$), multiplicado por la suma del último suavizado del periodo constante del periodo anterior (S_{t-1}) y del último suavizado del patrón tendencial del periodo anterior (B_{t-1}). En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado de patrón constante con la fórmula (12) en la columna F, a partir de la celda F6 hasta la celda F76 (véase la figura 46), esto es utilizando los factores estacionales trimestrales correspondientes.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Pe rio do	Año	Tri m es	Valor St		Bt	Ct	Pro nóst ico	Erro r de	% de Erro	Tri mes	Estimación del factor estacional			
4	1	1	60	=SI(ESNUMERO(E5), \$Q\$11*(E5/BUSCARV(D5,\$M\$5:\$N\$8,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(Q16+Q17), "")		=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E	1	=FETIH5			
5	2	1	2	75	=SI(ESNUMERO(E6), \$Q\$11*(E6/BUSCARV(D6,\$M\$5:\$N\$8,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F5+G5), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E	2	=FETIH6			Desviación absoluta media
6	3	1	3	90	=SI(ESNUMERO(E7), \$Q\$11*(E7/BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$8,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F6+G6), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E	3	=FETIH7			Error cuadrado medio
7	4	1	4	80	=SI(ESNUMERO(E8), \$Q\$11*(E8/BUSCARV(D8,\$M\$5:\$N\$8,2,0)))+(1-\$Q\$11)*(F7+G7), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E	4	=FETIH8			Error porcentual absoluto medio
8	5	2	1	55	=SI(ESNUMERO(E9), \$Q\$11*(E9/H5)+(1-\$Q\$11)*(F8+G8), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					
9	6	2	2	70	=SI(ESNUMERO(E10), \$Q\$11*(E10/H6)+(1-\$Q\$11)*(F9+G9), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					
10	7	2	3	95	=SI(ESNUMERO(E11), \$Q\$11*(E11/H7)+(1-\$Q\$11)*(F10+G10), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					Constantes de suaviza
11	8	2	4	85	=SI(ESNUMERO(E12), \$Q\$11*(E12/H8)+(1-\$Q\$11)*(F11+G11), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					α =
12	9	3	1	50	=SI(ESNUMERO(E13), \$Q\$11*(E13/H9)+(1-\$Q\$11)*(F12+G12), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					β =
13	10	3	2	65	=SI(ESNUMERO(E14), \$Q\$11*(E14/H10)+(1-\$Q\$11)*(F13+G13), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					γ =
14	11	3	3	85	=SI(ESNUMERO(E15), \$Q\$11*(E15/H11)+(1-\$Q\$11)*(F14+G14), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					Estimación inicial
15	12	3	4	75	=SI(ESNUMERO(E16), \$Q\$11*(E16/H12)+(1-\$Q\$11)*(F15+G15), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					S_t =
16	13	4	1		=SI(ESNUMERO(E17), \$Q\$11*(E17/H13)+(1-\$Q\$11)*(F16+G16), "")	=SI(=SI(E	=SI(V	=SI(E	=SI(E	=SI(E					B_t =
17															

Figura 46. Plantilla para cálculo de suavizado de patrón constante trimestral (columna F)

El cálculo de suavizado de patrón constante se ejemplifica con la evaluación de la celda F8 de la plantilla que se muestra en la figura 46, con la fórmula descrita en la figura 47.

$$=SI(ESNUMERO(E8), Q11*(E8/BUSCARV(D8,M5:N8,2,0)))+(1-Q11)*(F7+G7), "")$$

$\alpha * (X_t / C_{t-L}) + (1 - \alpha) * (S_{t-1} + B_{t-1})$

Aseguramos que exista un valor observado en el período

Figura 47. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón constante trimestral

Para evaluar el suavizado de patrón tendencial se suma el producto de la ponderación (β) por la diferencia del suavizado del patrón constante del mismo periodo (S_t), menos el suavizado del patrón constante del periodo anterior ($-S_{t-1}$); más el complemento a uno de esta ponderación ($1 - \beta$), multiplicado por el último suavizado del patrón tendencial (B_{t-1}). En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado de patrón tendencial con la fórmula (13) en la columna G, a partir de la celda G6 hasta la celda G76 (véase la figura 48).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Pe rio o	Añ o	Tri m	Va lor	St	Bt	Ct	Pro nóst r de	Erro r de	% de Erro	Tri mes	Estimación del factor estacional			
5	1	1	1	60	=SI(E=SI(ESNUMERO(E5), \$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E5), \$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E5), \$Q\$12*(F5-Q16)+(1-\$Q\$12)*Q17,""))		1	=FET!H5			Desviación absoluta media
6	2	1	2	75	=SI(E=SI(ESNUMERO(E6), \$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E6), \$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E6), \$Q\$12*(F6-F5)+(1-\$Q\$12)*G5,""))		2	=FET!H6			Error cuadrado medio
7	3	1	3	90	=SI(E=SI(ESNUMERO(E7), \$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E7), \$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E7), \$Q\$12*(F7-F6)+(1-\$Q\$12)*G6,""))		3	=FET!H7			Error porcentual absoluto medio
8	4	1	4	80	=SI(E=SI(ESNUMERO(E8), \$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E8), \$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E8), \$Q\$12*(F8-F7)+(1-\$Q\$12)*G7,""))		4	=FET!H8			
9	5	2	1	55	=SI(E=SI(ESNUMERO(E9), \$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E9), \$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E9), \$Q\$12*(F9-F8)+(1-\$Q\$12)*G8,""))						
10	6	2	2	70	=SI(E=SI(ESNUMERO(E10), \$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E10), \$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E10), \$Q\$12*(F10-F9)+(1-\$Q\$12)*G9,""))						Constantes de suavizado
11	7	2	3	95	=SI(E=SI(ESNUMERO(E11), \$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E11), \$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E11), \$Q\$12*(F11-F10)+(1-\$Q\$12)*G10,""))						$\alpha =$
12	8	2	4	85	=SI(E=SI(ESNUMERO(E12), \$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E12), \$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E12), \$Q\$12*(F12-F11)+(1-\$Q\$12)*G11,""))						$\beta =$
13	9	3	1	50	=SI(E=SI(ESNUMERO(E13), \$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E13), \$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E13), \$Q\$12*(F13-F12)+(1-\$Q\$12)*G12,""))						$\gamma =$
14	10	3	2	65	=SI(E=SI(ESNUMERO(E14), \$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E14), \$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E14), \$Q\$12*(F14-F13)+(1-\$Q\$12)*G13,""))						Estimación inicial
15	11	3	3	85	=SI(E=SI(ESNUMERO(E15), \$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E15), \$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E15), \$Q\$12*(F15-F14)+(1-\$Q\$12)*G14,""))						$S_t =$
16	12	3	4	75	=SI(E=SI(ESNUMERO(E16), \$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E16), \$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E16), \$Q\$12*(F16-F15)+(1-\$Q\$12)*G15,""))						$B_t =$
17	13	4	1		=SI(E=SI(ESNUMERO(E17), \$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E17), \$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,""))		=SI(E=SI(ESNUMERO(E17), \$Q\$12*(F17-F16)+(1-\$Q\$12)*G16,""))						

Figura 48. Plantilla para el cálculo de suavizado de patrón tendencial trimestral (columna G)

El cálculo de suavizado de patrón tendencial se ejemplifica con la evaluación de la celda G7 de la plantilla que se muestra en la figura 48, con la fórmula descrita en la figura 49.

$$=SI(ESNUMERO(E7), Q12*(F7-F6)+(1-Q12)*G6,"")$$

$\beta * (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) * (B_{t-1})$

Aseguramos que exista un valor observado en el período

Figura 49. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón tendencial trimestral

Para evaluar el suavizado del patrón estacional se suma el producto de la ponderación (γ) por el cociente del valor observado del periodo a suavizar dividido entre el suavizado del mismo periodo (X_t/S_t); más el complemento a uno de esta ponderación ($1 - \gamma$), multiplicado por el factor estacional del periodo en la estación anterior (C_{t-L}). En la plantilla de Excel® se calcula el suavizado de patrón estacional con la fórmula (13) en la columna H, a partir de la celda H6 hasta la celda H76 (véase la figura 50). Esto es utilizando los factores estacionales trimestrales correspondientes.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Pe	Añ	Tri	Val				Pro	Erro	% de			Tri	Estimación del	
4	rio	o	m	tor	St	Bt	Ct	nóst	de	Erro			mes	factor estacional	
5	1	1	1	60	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E5), \$Q\$13*(E5/F5)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D5,\$M\$5:\$N\$8,2,0), ""))		=SI(Y	=SI(E			1	=FET!H5	Desviación absoluta media
6	2	1	2	75	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E6), \$Q\$13*(E6/F6)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D6,\$M\$5:\$N\$8,2,0), ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E		2	=FET!H6	Error cuadrado medio
7	3	1	3	90	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E7), \$Q\$13*(E7/F7)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$8,2,0), ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E		3	=FET!H7	Error porcentual absoluto medio
8	4	1	4	80	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E8), \$Q\$13*(E8/F8)+(1-\$Q\$13)*BUSCARV(D8,\$M\$5:\$N\$8,2,0), ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E		4	=FET!H8	
9	5	2	1	55	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E9), \$Q\$13*(E9/F9)+(1-\$Q\$13)*H5, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				
10	6	2	2	70	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E10), \$Q\$13*(E10/F10)+(1-\$Q\$13)*H6, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				
11	7	2	3	95	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E11), \$Q\$13*(E11/F11)+(1-\$Q\$13)*H7, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				Constantes de suavizado
12	8	2	4	85	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E12), \$Q\$13*(E12/F12)+(1-\$Q\$13)*H8, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				$\alpha =$
13	9	3	1	50	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E13), \$Q\$13*(E13/F13)+(1-\$Q\$13)*H9, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				$\beta =$
14	10	3	2	65	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E14), \$Q\$13*(E14/F14)+(1-\$Q\$13)*H10, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				$\gamma =$
15	11	3	3	85	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E15), \$Q\$13*(E15/F15)+(1-\$Q\$13)*H11, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				Estimación inicial
16	12	3	4	75	=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E16), \$Q\$13*(E16/F16)+(1-\$Q\$13)*H12, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				$S_t =$
17	13	4	1		=SI(E	=SI(E	=SI(ESNUMERO(E17), \$Q\$13*(E17/F17)+(1-\$Q\$13)*H13, ""))		=SI(E	=SI(Y	=SI(E				$B_t =$

Figura 50. Plantilla para el cálculo de suavizado de patrón estacional trimestral (columna H)

El cálculo de suavizado de patrón estacional se ejemplifica con la evaluación de la celda H7 de la plantilla que se muestra en la figura 50, con la fórmula descrita en la figura 51.

$$=SI(ESNUMERO(E7), Q13*(E7/F7)+(1-Q13)*BUSCARV(D7,M5:N8,2,0), "")$$

$\gamma * (X_t/S_t) + (1 - \gamma) * (C_{t-L})$

Aseguramos que exista un valor observado en el período

Figura 51. Fórmula en Excel® para cálculo de suavizado de patrón estacional trimestral

El pronóstico de suavizado exponencial de Winters se calcula sumando el suavizado de patrón de comportamiento constante (S_t), más k -periodos el valor del suavizado de patrón de comportamiento tendencial (B_t), y a la suma se le multiplica el factor estacional correspondiente al periodo de la estación anterior (C_{t+k-L}).

En la plantilla de Excel® se calcula el pronóstico de suavizado exponencial de Winters con la fórmula (14) en la columna I, a partir de la celda I6 hasta la celda I76 (véase la figura 52), considerando la estacionalidad trimestral.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
4	Período	Trimestre	Valor	St	Bt	Ct		Pronóstico con Suavizamiento exponencial de Winters	Error	% de Error	Trimestre	Estimación del factor estacional				
5	1	1	60	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES			=SI(	=SI(	1	=FET!H5			Desviación absoluta media	MAD =
6	2	1	75	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E5),(F5+G5)*BUSCARV(D6,\$M\$5:\$N\$8,2,0),""))		=SI(	=SI(	2	=FET!H6			Error cuadrado medio	MSE =
7	3	1	90	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E6),(F6+G6)*BUSCARV(D7,\$M\$5:\$N\$8,2,0),""))		=SI(	=SI(	3	=FET!H7			Error porcentual absoluto medio	MAPE =
8	4	1	80	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E7),(F7+G7)*BUSCARV(D8,\$M\$5:\$N\$8,2,0),""))		=SI(	=SI(	4	=FET!H8				
9	5	2	1	55	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E8),(F8+G8)*BUSCARV(D9,D5:H8,5,0),""))	=SI(	=SI(						
10	6	2	2	70	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E9),(F9+G9)*BUSCARV(D10,D6:H9,5,0),""))	=SI(	=SI(						
11	7	2	3	95	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E10),(F10+G10)*BUSCARV(D11,D7:H10,5,0),""))	=SI(	=SI(						
12	8	2	4	85	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E11),(F11+G11)*BUSCARV(D12,D8:H11,5,0),""))	=SI(	=SI(						
13	9	3	1	50	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E12),(F12+G12)*BUSCARV(D13,D9:H12,5,0),""))	=SI(	=SI(						
14	10	3	2	65	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E13),(F13+G13)*BUSCARV(D14,D10:H13,5,0),""))	=SI(	=SI(						
15	11	3	3	85	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E14),(F14+G14)*BUSCARV(D15,D11:H14,5,0),""))	=SI(	=SI(						
16	12	3	4	75	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E15),(F15+G15)*BUSCARV(D16,D12:H15,5,0),""))	=SI(	=SI(						
17	13	4	1		=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E16),(F16+G16)*BUSCARV(D17,D13:H16,5,0),""))	=SI(	=SI(						
18	14	4	2		=SI(ES	=SI(ES	=SI(ES	=SI(ESNUMERO(E17),(F17+G17)*BUSCARV(D18,D14:H17,5,0),""))	=SI(	=SI(						

Figura 52. Plantilla para cálculo de suavizado exponencial de Winters con estacionalidad trimestral

El cálculo de suavizado exponencial de Winters se ejemplifica con la evaluación de la celda I7 de la plantilla que se muestra en la figura 52, con la fórmula descrita en la figura 53. Como el análisis se hace para un periodo $k = 1$, el valor de k se omite de la fórmula.

$$=SI(ESNUMERO(E6),(F6+G6)*BUSCARV(D7,M5:N8,2,0),""))$$

$(S_t + B_t) * (C_{t+k-L})$

Aseguramos que exista un valor observado en el periodo anterior

Figura 53. Fórmula en Excel® para cálculo de pronóstico con suavizado exponencial de Winters con estacionalidad trimestral

3.7 Conclusiones de la práctica 2 con estacionalidad trimestral

En esta práctica se revisaron los métodos de pronósticos que permiten describir el patrón de comportamiento estacional trimestral de la demanda. El beneficio de describir aparte la estacionalidad trimestral respecto a la estacionalidad mensual es que permite evitar los errores de la omisión en el cálculo de los factores estacionales, que se ha observado en el análisis de la plantilla que combina el análisis de esta estacionalidad.

Análisis de la práctica 3. Inventario: EOQ y EPQ

En esta práctica se describirá el uso de la herramienta desarrollada en la plantilla de Excel®, donde se programaron los algoritmos para resolver la práctica 3 de cantidad económica a ordenar. La primera hoja presenta la introducción al uso de la plantilla (véase la figura 54).

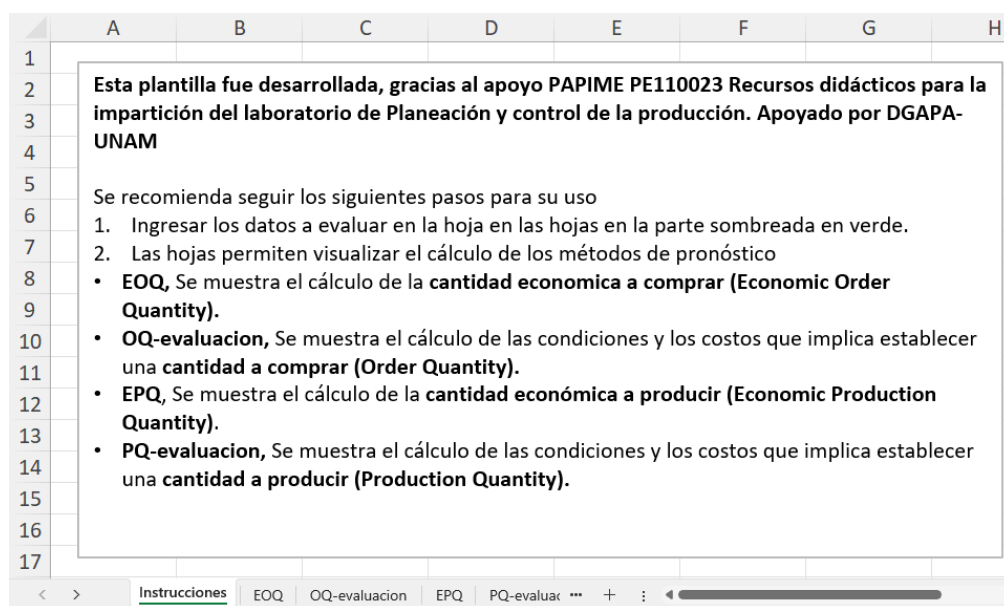


Figura 54. Instrucciones de la práctica 3

4.1 Cantidad económica por ordenar

El modelo de cantidad económica por ordenar es el modelo fundamental de los modelos de inventarios; Harris los introdujo en 1915. También se conoce como la fórmula de Wilson, ya que él fue quien promovió su empleo. La importancia de este modelo es que sirve como base para modelos más elaborados.

Dentro del ambiente para la toma de decisiones, tiene los siguientes supuestos:

- Existe un solo artículo en el sistema de inventario.
- La demanda es uniforme y determinística, y el monto es de D unidades por unidad de tiempo (día, semana, mes o año). Se usará la demanda anual, pero puede ser cualquier otra unidad, siempre y cuando el resto de los parámetros se calculen en la misma unidad de tiempo.
- No se permiten faltantes.
- No hay un tiempo de entrega (tiempo desde que se coloca la orden hasta que se recibe).
- Toda la cantidad ordenada llega al mismo tiempo; esto se llama tasa de reabastecimiento infinito.

La cantidad óptima para ordenar se calcula como la raíz del producto de dos veces la demanda (D) por el costo de ordenar (A) entre el costo unitario de mantener el inventario (h).

En la plantilla de Excel® se calcula la cantidad óptima para ordenar con la fórmula (16) en la celda B16 (véase la figura 55).

$$Q = \sqrt{2AD/h} \quad (16)$$

Donde:

Q	Cantidad óptima para ordenar
D	Demanda por unidad de tiempo
A	Costo de ordenar (\$/orden)
h	Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)

MINUSC		:	✗	✓	f_x	=RAIZ((2*B5*B4/B6))
A		B		C		
Plantilla modelo EOQ óptimo						
1						
2						
3	Datos		Valor		Unidades de tiempo, cantidad, etc	
4	Demanda		800		unidades al año	
5	Costo de ordenar		30		\$ por orden	
6	Costo de mantener		3		\$ por unidad/año	
7	Tasa de mantener		0.03		% anual	
8	Costo unitario del producto		100		\$ por unidad	
9	Número de días de trabajo		250		días al año	
10	Tiempo de entrega o tiempo esperado entre ordenes		0		días al año	
11						
12						
Resultados con cantidad óptima a comprar						
13						
14						
15	Resultados del análisis EOQ				Unidades de tiempo, cantidad, etc	
16	Cantidad óptima de pedido Q*		=RAIZ((2*B5*B4/B6))		unidades	
17	Punto de reorden R		=(B4)*(B10/B9)		unidades	
18						
19	Número esperado de ordenes		=B4/B16		órdenes	
20						
21	Tiempo de ciclo del inventario		=B16/B4		años	
22						
23	Costo de adquirir		=(B8*B4)		\$ /anual	
24	Costo de ordenar		=B5*(B4/B16)		\$ /anual	
25	Costo de mantener		=B6*(B16/2)		\$ /anual	
26	Costo promedio anual del inventario		=SUMA(B23:B25)		\$ /anual	
27						
28						

Figura 55. Plantilla para cálculo modelo cantidad económica a ordenar

El cálculo de la cantidad óptima a comprar se ejemplifica con la evaluación de la celda B16 de la plantilla que se muestra en la figura 55, con la fórmula descrita en la figura 56.

$$=RAIZ((2*B5*B4/B6))$$

$$\sqrt{2AD/h}$$

Figura 56. Fórmula para el cálculo de la cantidad económica a ordenar comprar

El punto de reorden corresponde al nivel de inventario en el cual se debe emitir una orden de compra considerando el tiempo de entrega para recibir el pedido. En la plantilla de Excel® se calcula el punto de reorden con la fórmula (17) en la celda B17 (véase la figura 55).

$$R = D * \tau \quad (17)$$

Donde:

R Punto de reorden

D Demanda por unidad de tiempo

τ Tiempo de entrega en las mismas unidades de tiempo que la demanda

El cálculo del punto de reorden se ejemplifica con la evaluación de la celda B17 de la plantilla que se muestra en la figura 55, con la fórmula descrita en la figura 57. Es importante mencionar que el tiempo de entrega se calcula como el cociente del tiempo de entrega en días al año, entre el número de días de trabajo al año, a manera de convertir las unidades del tiempo de entrega de día, a tiempo de entrega en años (mismas unidades de la demanda).

$$= (B4) * (B10/B9)$$

$\uparrow$ $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$
 $D * \tau$

Figura 57. Fórmula para el cálculo del punto de reorden con cantidad óptima a ordenar

El número esperado de órdenes corresponde al número de veces que se emite una orden de compra durante un año. Este cálculo corresponde al cociente de la demanda entre la cantidad óptima a ordenar. En la plantilla de Excel® se calcula el número esperado de órdenes con la fórmula (18) en la celda B19 (véase la figura 55).

$$\text{Número de órdenes} = D/Q^* \quad (18)$$

Donde:

D Demanda por unidad de tiempo

Q^* Cantidad óptima para ordenar

El cálculo del número de órdenes se ejemplifica con la evaluación de la celda B19 de la plantilla que se muestra en la figura 55, con la fórmula descrita en la figura 58.

$$=B4/B16$$

$\uparrow \quad \uparrow$
 $D \quad Q^*$

Figura 58. Fórmula para el cálculo del número de órdenes por ordenar al año

El tiempo de ciclo de inventario corresponde al número de años en que se agota la cantidad óptima a ordenar. Este cálculo corresponde al cociente de la cantidad óptima a ordenar entre la demanda. En la plantilla de Excel® se calcula el tiempo de ciclo con la fórmula (19) en la celda B21 (véase la figura 55).

$$\text{Tiempo de ciclo} = Q^*/D \quad (19)$$

Donde:

D Demanda por unidad de tiempo

Q^* Cantidad óptima para ordenar

El cálculo del tiempo de ciclo se ejemplifica con la evaluación de la celda B21 de la plantilla que se muestra en la figura 55, con la fórmula descrita en la figura 59.

$$=B16/B4$$

$\uparrow \quad \uparrow$
 $Q^* \quad D$

Figura 59. Fórmula para el cálculo del tiempo de ciclo al ordenar

El costo promedio anual del inventario corresponde a la suma del costo de adquirir más el costo de ordenar más el costo de mantener. En la plantilla de Excel® se calcula el costo de adquirir con la fórmula (20) en la celda B23. Se calcula el costo de ordenar con la fórmula (21) en la celda B24. Se calcula el costo de mantener con la fórmula (22) en la celda B25. Se calcula el costo promedio anual del inventario con la fórmula (23) en la celda B26 (véase la figura 55).

$$\text{Costo de adquirir} = c * D \quad (20)$$

Donde:

D Demanda por unidad de tiempo

c Costo unitario del artículo

$$\text{Costo de ordenar} = (A * D) / Q^* \quad (21)$$

Donde:

D Demanda por unidad de tiempo

A Costo de ordenar (\$/orden)

Q^* Cantidad óptima para ordenar

$$\text{Costo de mantener} = h Q^* / 2 \quad (22)$$

Donde:

h Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)

Q^* Cantidad óptima para ordenar

$$\begin{array}{l} \text{Costo promedio} \\ \text{anual} \\ \text{del inventario} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{de adquirir} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{de ordenar} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{de mantener} \end{array} \quad (23)$$

$$K(Q) = c * D + A * D / Q^* + h Q^* / 2 \quad (23 \text{ bis})$$

Donde:

$K(Q)$ Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)

Q^* Cantidad óptima para ordenar

D Demanda por unidad de tiempo

A Costo de ordenar (\$/orden)

h Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)

c Costo unitario del artículo

El cálculo del costo promedio anual del inventario se ejemplifica con la evaluación de la celda B26 de la plantilla que se muestra en la figura 55, con la fórmula descrita en la figura 60.

$$\begin{aligned} & \text{=SUMA(B23:B25)} \\ & \quad \underbrace{\hspace{10em}} \\ & = \text{Costo de} + \text{Costo de} + \text{Costo de} \\ & \quad \text{adquirir} \quad \text{ordenar} \quad \text{mantener} \end{aligned}$$

Figura 60. Fórmula para el cálculo del costo promedio anual del inventario

4.2 Evaluación de la cantidad por ordenar

El modelo de cantidad económica por ordenar se puede evaluar asignando una cantidad a ordenar diferente a la cantidad óptima. Esto sucede cuando la cantidad óptima a ordenar es un número decimal o las cantidades para ordenar se solicitan al proveedor en lotes. Para evaluar la cantidad por ordenar, el número decimal se ingresa en la celda B11.

Por lo tanto, se tiene una plantilla aparte con nombre OQ-evaluación. Esta plantilla permite evaluar la cantidad a ordenar y sus correspondientes valores de costos, tiempo de ciclo, punto de reorden y número esperado de órdenes. El cálculo de estas variables relacionadas con el modelo de cantidad a ordenar que se desea evaluar se realiza conforme a la figura 61.

	A	B	C
1	Plantilla modelo evaluación cantidad a ordenar		
2			
3	Datos	Valor	Unidades de tiempo, cantidad, etc
4	Demanda	800	unidades al año
5	Costo de ordenar	30	\$ por orden
6	Costo de mantener	3	\$ por unidad/año
7	Tasa de mantener	0.03	% anual
8	Costo unitario del producto	100	\$ por unidad
9	Número de días de trabajo	250	días al año
10	Tiempo de entrega o tiempo esperado entre ordenes	0	días al año
11	Cantidad a ordenar a evaluar	100	unidades
12			
13	Resultados con evaluación cantidad a comprar		
14			
15	Resultados del análisis con cantidad a evaluar		Unidades de tiempo, cantidad, etc
16	Cantidad de pedido Q	=B11	unidades
17	Punto de reorden R	=(B4)*(B10/B9)	unidades
18			
19	Número esperado de ordenes	=B4/B16	órdenes
20			
21	Tiempo de ciclo del inventario	=B16/B4	años
22			
23	Costo de adquirir	=(B8*B4)	\$ /anual
24	Costo de ordenar	=B5*(B4/B16)	\$ /anual
25	Costo de mantener	=B6*(B16/2)	\$ /anual
26	Costo promedio anual del inventario	=SUMA(B23:B25)	\$ /anual
27			

Figura 61. Plantilla para cálculo del modelo cantidad a ordenar

4.3 Cantidad económica por producir

El modelo de cantidad económica por producir establece una tasa de reabastecimiento finita del modelo EOQ, la cual se limita a una tasa de producción φ . Dentro del ambiente para la toma de decisiones, tiene los siguientes supuestos:

- Existe un solo artículo en el sistema de inventario.
- La demanda es uniforme y determinística, y el monto es de D unidades por unidad de tiempo (día, semana, mes o año). Se usará la demanda anual, pero puede ser cualquier otra unidad, siempre y cuando el resto de los parámetros se calculen en la misma unidad de tiempo.
- No se permiten faltantes.
- No hay un tiempo de entrega (tiempo desde que se coloca la orden hasta que se recibe).
- La cantidad para producir es la tasa de producción o reabastecimiento.

La cantidad óptima para producir se calcula como la raíz del producto de dos veces la demanda (D) por el costo de ordenar (A), entre el producto del costo unitario de mantener el inventario (h), por uno menos el cociente de la demanda entre la tasa de producción $\left[1 - (D/\varphi)\right]$.

En la plantilla de Excel® se calcula la cantidad óptima para producir con la fórmula (24) en la celda B17 (véase la figura 62).

$$Q^* = \sqrt{2AD / \left[h \left(1 - (D/\varphi) \right) \right]} \quad (24)$$

Donde:

Q^* Cantidad óptima por producir

D Demanda por unidad de tiempo

A Costo de ordenar un lote de producción (\$/orden)

h Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)

φ Tasa de producción o reabastecimiento (unidades por año)

Plantilla modelo EPQ óptimo		
Datos	Valor	Unidades de tiempo, cantidad, etc
Demanda	4000	unidades al año
Tasa de producción o reemplazo	8000	unidades al año
Costo de ordenar un lote de producción	25	\$ por orden
Costo de mantener	=B8*B9	\$ por unidad/año
Tasa de mantener	0.4	% anual
Costo unitario del producto	0.25	\$ por unidad
Número de días de trabajo	300	días al año
Tiempo de entrega o tiempo esperado entre ordenes	0	días al año
Resultados con cantidad óptima a producir		
Resultados del análisis EOQ		
Cantidad óptima de producción Q*	=RAIZ((2*B6*B4)/(B7*(1-(B4/B5))))	unidades
Punto de reorden R	=(B4)*(B11/B10)	unidades
Número esperado de ordenes de producción	=B4/B17	órdenes
Inventario máximo	=(B17*(1-(B4/B5)))	unidades
Tiempo de producción-consumo del inventario	=B22/(B5-B4)	años
Tiempo de consumo del inventario	=B22/(B4)	años
Costo de producir	=(B9*B4)	\$ /anual
Costo de ordenar el lote de producción	=(B4/B17)*B6	\$ /anual
Costo de mantener	=B7*(B17*(1-(B4/B5)))/2	\$ /anual
Costo promedio anual del inventario	=SUMA(B26:B28)	\$ /anual

Figura 62. Plantilla para calcular el modelo cantidad económica a producir

El cálculo de la cantidad óptima a producir se ejemplifica con la evaluación de la celda B17 de la plantilla que se muestra en la figura 62, con la fórmula descrita en la figura 63.

$$=RAIZ((2*B6*B4)/(B7*(1-(B4/B5))))$$

$$\sqrt{2AD / (h(1 - (D/\phi)))}$$

Figura 63. Fórmula para el cálculo de la cantidad económica a ordenar producir

El punto de reorden corresponde al nivel de inventario en el cual se debe emitir una orden de producción considerando el tiempo de entrega para recibir la orden a producir. En la plantilla de Excel® se calcula el punto de reorden con la fórmula (17) en la celda B18 (véase la figura 62), con la consideración de que el tiempo de entrega es el de la orden de producción.

El número esperado de órdenes de producción corresponde al número de veces que se emite una orden de producción durante un año. Este cálculo corresponde al cociente de la demanda entre la cantidad óptima a producir. En la plantilla de Excel® se calcula el número esperado de órdenes con la fórmula (18) en la celda B20 (véase la figura 62).

El inventario máximo corresponde al almacenamiento de producción menos lo que se consume durante el periodo de producción. El inventario máximo se calcula como el producto de la cantidad óptima para ordenar producir (Q^*), por uno menos el cociente de la demanda (D) entre la tasa de producción (ϕ). En la plantilla de Excel® se calcula el inventario máximo con la fórmula (25) en la celda B22 (véase la figura 62).

$$I_{m\acute{a}x} = Q^* * (1 - D/\phi) \quad (25)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}x}$ Inventario máximo de producción

Q^* Cantidad óptima para ordenar producir

- D Demanda por unidad de tiempo
 φ Tasa de producción por unidad de tiempo

El cálculo del inventario máximo de producción se ejemplifica con la evaluación de la celda B22 de la plantilla que se muestra en la figura 62, con la fórmula descrita en la figura 64.

$$=(B17*(1-(B4/B5)))$$

$\uparrow$ $\uparrow$
 $Q^* * (1 - D/\varphi)$

Figura 64. Fórmula para el cálculo de inventario máximo de producción

Cuando se evalúa la cantidad óptima a producir, se cuenta con dos periodos dentro del ciclo de producción. En la primera parte del ciclo de producción se genera el inventario máximo (T_2), en este intervalo de tiempo se produce y consume el inventario. En la segunda parte del ciclo de producción únicamente se consume el inventario (T_3). En la plantilla de Excel® se calcula el tiempo de producción-consumo del inventario (T_2) con la fórmula (26) en la celda B23, (véase la figura 65).

$$T_2 = I_{máx} / (\varphi - D) \quad (26)$$

Donde:

- T_2 Tiempo donde se genera el inventario máximo de producción, en este periodo de tiempo se produce y consume inventario
 $I_{máx}$ Inventario máximo de producción
 D Demanda por unidad de tiempo
 φ Tasa de producción por unidad de tiempo

El cálculo del tiempo donde se genera el inventario máximo de producción se ejemplifica con la evaluación de la celda B23 de la plantilla que se muestra en la figura 62, con la fórmula descrita en la figura 65.

$$=B22/(B5-B4)$$

$$\uparrow \quad \uparrow$$

$$I_{max}/(\varphi - D)$$

Figura 65. Fórmula para el cálculo de tiempo para generar el inventario máximo de producción

En la plantilla de Excel® se calcula el tiempo de consumo de inventario (T_3) con la fórmula (27) en la celda B24 (véase la figura 65).

$$T_3 = I_{máx}/D \quad (27)$$

Donde:

T_3 Es el tiempo donde se consume el inventario de producción

$I_{máx}$ Inventario máximo de producción

D Demanda por unidad de tiempo

El cálculo del tiempo donde se consume el inventario que ya se ha generado, se ejemplifica con la evaluación de la celda B24 de la plantilla que se muestra en la figura 62, con la fórmula descrita en la figura 66.

$$=B22/(B4)$$

$$\uparrow \quad \uparrow$$

$$I_{max}/D$$

Figura 66. Fórmula para el cálculo de tiempo para consumir el inventario de producción

El costo promedio anual del inventario corresponde a la suma del costo de producir, más el costo de ordenar el lote de producción, más el costo de mantener. En la plantilla de Excel® se calcula en la celda B26 el costo de adquirir con la fórmula (28), considerando el costo unitario de producción. Se calcula en la celda B27 el costo de ordenar un lote de producción con la fórmula (29), considerando el costo unitario de ordenar un lote de producción. Se calcula en la celda B28 el costo de mantener el inventario máximo con la fórmula (30). Se calcula el costo promedio anual del inventario con la fórmula (31) en la celda B26 (véase la figura 62).

$$\text{Costo de producir} = c * D \quad (28)$$

Donde:

- D Demanda por unidad de tiempo
 c Costo unitario de producción del artículo

$$\text{Costo de ordenar el lote de producción} = A * D / Q^* \quad (29)$$

Donde:

- D Demanda por unidad de tiempo.
 A Costo de ordenar un lote de producción (\$/orden).
 Q^* Cantidad óptima para producir

$$\text{Costo de mantener} = h * Q^* * (1 - D/\varphi) / 2 = h * I_{\text{máx}} / 2 \quad (30)$$

Donde:

- h Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año).
 Q^* Cantidad óptima para producir
 D Demanda por unidad de tiempo.
 φ Tasa de producción por unidad de tiempo.
 $I_{\text{máx}}$ Inventario máximo de producción

$$\begin{array}{l} \text{Costo promedio} \\ \text{anual} \\ \text{del inventario} \\ \text{al producir} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{de producir} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{de ordenar el} \\ \text{lote de producto} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{de mantener} \end{array} \quad (31)$$

$$K(Q) = c * D + A * D / Q^* + h * I_{\text{máx}} / 2 \quad (31 \text{ bis})$$

Donde:

- $K(Q)$ Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)
 Q^* Cantidad óptima para producir
 D Demanda por unidad de tiempo
 φ Tasa de producción por unidad de tiempo
 A Costo de ordenar un lote de producción (\$/orden)

- h Costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)
- c Costo unitario de producción del artículo

El cálculo del costo promedio anual del inventario a producir se ejemplifica con la evaluación de la celda B29 de la plantilla que se muestra en la figura 62, con la fórmula descrita en la figura 67.

$$\begin{array}{c}
 \text{=SUMA(B26:B28)} \\
 \hline
 = \text{Costo de} + \text{Costo de} + \text{Costo de} \\
 \text{producir} \quad \text{ordenar el} \quad \text{mantener} \\
 \quad \quad \text{lote de prod.}
 \end{array}$$

Figura 67. Fórmula para el cálculo del costo promedio anual del inventario

4.4 Evaluación de la cantidad por producir

El modelo de cantidad económica por producir se puede evaluar asignando una cantidad a producir diferente a la cantidad óptima. Esto sucede cuando la cantidad óptima a producir es un número decimal o las cantidades para producir se solicitan en lotes de producción. La cantidad para evaluar producir se ingresa en la celda B12.

Por lo tanto, se tiene una plantilla aparte con nombre PQ-evaluacion. Esta plantilla permite evaluar la cantidad a ordenar y sus correspondientes valores de tiempos de ciclo, inventario máximo, punto de reorden y costos de inventario de producción. El cálculo de estas variables relacionadas con el modelo de cantidad a ordenar que se desea evaluar se realiza conforme a la figura 68.

B12			1000
	A	B	C
1	Plantilla modelo evaluación cantidad a producir		
2			
3	Datos	Valor	Unidades de tiempo, cantidad,
4	Demanda	4000	unidades al año
5		8000	
6	Costo de ordenar un lote de producción	25	\$ por orden
7	Costo de mantener	=B8*B9	\$ por unidad/año
8	Tasa de mantener	0.4	% anual
9	Costo unitario del producto	0.25	\$ por unidad
10	Número de días de trabajo	300	días al año
11	Tiempo de entrega o tiempo esperado entre ordenes	0	días al año
12	Cantidad a ordenar a evaluar	1000	unidades
13			
14	Resultados con evaluación cantidad a producir		
15			
16	Resultados del análisis con cantidad a evaluar		Unidades de tiempo, cantidad, etc
17	Cantidad de producción Q	700	unidades
18	Punto de reorden R	=B4*(B11/B10)	unidades
19			
20	Número esperado de ordenes de producción	=B4/B17	órdenes
21			
22	Inventario máximo	=B17*(1-(B4/B5))	unidades
23	Tiempo de producción-consumo del inventario	=B22/(B5-B4)	años
24	Tiempo de consumo del inventario	=B22/(B4)	años
25			
26	Costo de adquirir	=B9*B4	\$ /anual
27	Costo de ordenar	=B4/B17*B6	\$ /anual
28	Costo de mantener	=B7*(B17*(1-(B4/B5))/2)	\$ /anual
29	Costo promedio anual del inventario	=SUMA(B26:B28)	\$ /anual

Figura 68. Plantilla para el cálculo del modelo cantidad a producir

4.5 Conclusiones de la práctica 3

En esta práctica se revisaron los modelos de inventario de cantidad económica a ordenar y cantidad económica a producir. En ambos casos se explicó cómo evaluar costos, punto de reorden y otros indicadores necesarios para su comprensión.

5 Análisis de la práctica 4. EOQ descuento por cantidad

En esta práctica se describirá el uso de la herramienta desarrollada en la plantilla de Excel® donde se programaron los algoritmos para resolver la práctica 4 denominada descuento por cantidad. La primera hoja presenta la introducción al uso de la plantilla, como se observa en la figura 67.

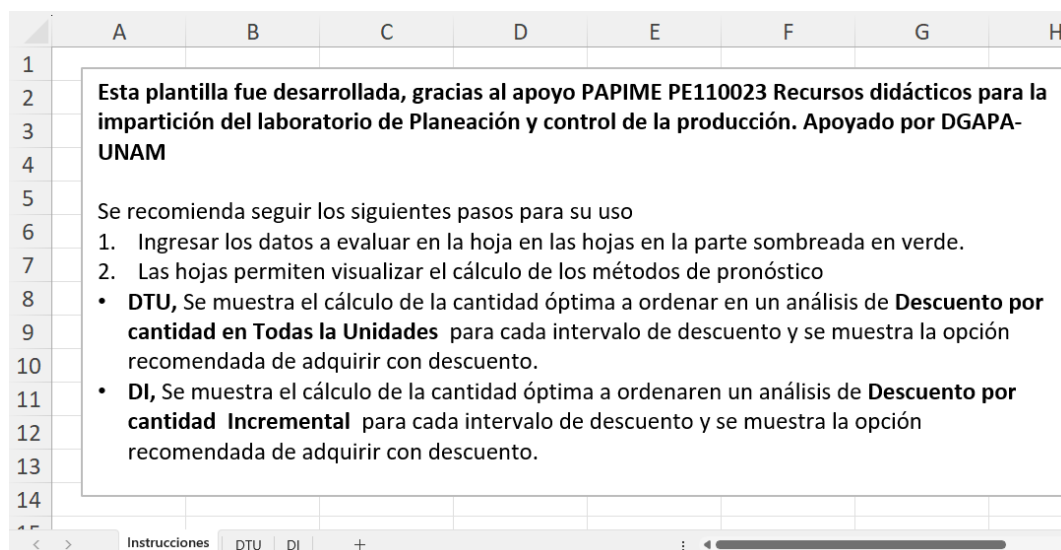


Figura 67. Instrucciones de la práctica 4

5.1 Descuento por cantidad en todas las unidades

Para que el cliente adquiriera más producto, se puede inducir al cliente ofreciendo descuentos por volumen; es decir, si se compra más que cierta cantidad específica, se aplica un “precio con descuento”, y el costo por unidad se reduce. El objetivo del cliente debe ser equilibrar la inversión en volumen que adquiriera en comparación con los costos de mantener el inventario, sin

perder de vista la demanda que debe adquirir para no sobre inventariar su almacén. El descuento se clasifica en dos tipos de planes de descuento: en todas las unidades y en descuento incremental.

El descuento en todas las unidades se aplica al descuento en el precio a todos los artículos, desde el primero, si la cantidad excede el corte de descuento. Como su nombre lo dice, el descuento se aplica a todas las unidades adquiridas, independientemente del intervalo de descuento. Como el costo se aplica para todas las unidades adquiridas, la función de costo es independiente en cada intervalo de descuento y el objetivo es determinar en qué cantidad por adquirir el costo anual es menor.

La cantidad óptima para ordenar se necesita calcular para cada intervalo de descuento y la cantidad a ordenar óptima por intervalo se evaluará como la raíz del producto de dos veces la demanda (D) por el costo de ordenar (A) entre el costo unitario de mantener el inventario que corresponde al producto de la tasa de mantener (i) por el costo unitario que corresponde al intervalo de descuento (c_j).

En la plantilla de Excel® se calcula la cantidad para ordenar del intervalo con la fórmula (32) en las celdas E11 a E17 (véase la figura 68).

$$Q_j = \sqrt{2AD/(ic_j)} \quad (32)$$

Donde:

Q_j	Cantidad para ordenar en el intervalo de descuento j
D	Demanda por unidad de tiempo
A	Costo de ordenar (\$/orden)
c_j	Costo unitario de intervalo de descuento j (\$/unidad)
i	Costo total anual de mantener el inventario (% por año)

=SI(C21=J11,F11,SI(C21=J12,F12,SI(C21=J13,F13,SI(C21=J14,F14,SI(C21=J15,F15,SI(C21=J16,F16,SI(C21=J17,F17))))))										
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	Descuento por cantidad en todas la unidades									
2										
3	Datos	Valor	Unidades							
4	Demanda	=200*12	(unidades /año)							
5	Costo de ordenar	40	\$ por orden							
6	Tasa de mantener	0.17	%							
7	Número de intervalos de	3								
8										
9		Rango de cantidades a ordenar								
10	Costo unitario	Límite inferior	Límite superior	EOQ	Q*	Costo anual de compra	Costo anual de ordenar	Costo anual de mantener	Costo total variable	
11	10	1	199	=SI(SC\$7>=A11,RAIZ(2*\$C\$4*\$C\$5/(SC\$6*B11)),")	=SI(SC\$7>=A11,MIN(D11,MAX(C11,E11)),")	=SI(SC\$7>=A11,SI(C7>=A11,SI(SC\$7>=A11,SUMA(G11:I11)),")				
12	9.5	200	499	=SI(SC\$7>=A12,RAIZ(2*\$C\$4*\$C\$5/(SC\$6*B12)),")	=SI(SC\$7>=A12,MIN(D12,MAX(C12,E12)),")	=SI(SC\$7>=A12,SI(C7>=A12,SI(SC\$7>=A12,SUMA(G12:I12)),")				
13	9	500	9.99999999999999	=SI(SC\$7>=A13,RAIZ(2*\$C\$4*\$C\$5/(SC\$6*B13)),")	=SI(SC\$7>=A13,MIN(D13,MAX(C13,E13)),")	=SI(SC\$7>=A13,SI(C7>=A13,SI(SC\$7>=A13,SUMA(G13:I13)),")				
14				=SI(SC\$7>=A14,RAIZ(2*\$C\$4*\$C\$5/(SC\$6*B14)),")	=SI(SC\$7>=A14,MIN(D14,MAX(C14,E14)),")	=SI(SC\$7>=A14,SI(C7>=A14,SI(SC\$7>=A14,SUMA(G14:I14)),")				
15				=SI(SC\$7>=A15,RAIZ(2*\$C\$4*\$C\$5/(SC\$6*B15)),")	=SI(SC\$7>=A15,MIN(D15,MAX(C15,E15)),")	=SI(SC\$7>=A15,SI(C7>=A15,SI(SC\$7>=A15,SUMA(G15:I15)),")				
16				=SI(SC\$7>=A16,RAIZ(2*\$C\$4*\$C\$5/(SC\$6*B16)),")	=SI(SC\$7>=A16,MIN(D16,MAX(C16,E16)),")	=SI(SC\$7>=A16,SI(C7>=A16,SI(SC\$7>=A16,SUMA(G16:I16)),")				
17				=SI(SC\$7>=A17,RAIZ(2*\$C\$4*\$C\$5/(SC\$6*B17)),")	=SI(SC\$7>=A17,MIN(D17,MAX(C17,E17)),")	=SI(SC\$7>=A17,SI(C7>=A17,SI(SC\$7>=A17,SUMA(G17:I17)),")				
18										
19	Resultados									
20	Cantidad óptima a ordenar	=SI(C21=J11,F11								
21	Costo total variable	=MIN(J11:I17)								
22	Número esperado de órdenes	=C4/C20								

Figura 68. Plantilla para el cálculo de descuento por cantidad en todas las unidades

Sin embargo, esta cantidad a ordenar del intervalo (Q_j), no necesariamente se encuentra dentro del intervalo de descuento en que se aplica el descuento. Por lo cual, la cantidad óptima a ordenar del intervalo (Q_j^*) en la plantilla de Excel® se calcula con la fórmula (33) en las celdas F11 a F17 (véase la figura 68).

$$Q_j^* = \min_j \{ q_j, \max_j (Q_j, q_{j-1}) \} \quad (33)$$

Donde:

Q_j^* Cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j

Q_j Cantidad para ordenar en el intervalo de descuento j

q_j Límite superior del j -ésimo intervalo de corte de precio

q_{j-1} Límite inferior del j -ésimo intervalo de corte de precio

El análisis se ejemplifica con la fórmula de la celda F13 (véase la figura 69). La cantidad óptima del intervalo se calcula como el máximo valor entre el mínimo valor del límite superior del intervalo y el máximo valor entre la cantidad óptima calculada y el límite inferior del intervalo.

$$=SI(\$C\$7>=A13,MIN(D13,MAX(C13,E13)), "")$$

Intervalo evaluado Número de intervalos Límite superior del intervalo de descuento evaluado Límite inferior del intervalo de descuento evaluado Cantidad óptima evaluada con el costo unitario del inventario

Figura 69. Fórmula para cálculo de cantidad óptima del intervalo de descuento

Con la cantidad que se puede ordenar para cada intervalo de descuento, se evalúan sus correspondientes costos. En la plantilla de Excel® se calcula el costo anual de compra con la fórmula (34) a partir de la celda G11 y hasta la celda G17 en la figura 70.

$$\text{Costo anual de compra} = D * c_j \quad (34)$$

Donde:

D Demanda por unidad de tiempo

c_j Costo unitario de intervalo de descuento j (\$ /unidad)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
9		Rango de cantidades a ordenar		EO	Q				
				Q	*				
10	Costo unitario	Límite inferior	Límite superior			Costo anual de compra	Costo anual de ordenar	Costo anual de mantener	Costo total variable
11	10	1	199	=SI(	=SI(\$C\$7>=A11,\$C\$4*B11,"")	=SI(C7>=A11,\$C\$5*\$C\$4/F11,"")	=SI(\$C\$7>=A11,\$C\$6*B11*F11/2,"")	=SI(\$C\$7>=A11,SUMA(G11:I11),"")	
12	9.5	200	499	=SI(	=SI(\$C\$7>=A12,\$C\$4*B12,"")	=SI(C7>=A12,\$C\$5*\$C\$4/F12,"")	=SI(\$C\$7>=A12,\$C\$6*B12*F12/2,"")	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(G12:I12),"")	
13	9	500	9.999999999999999	=SI(	=SI(\$C\$7>=A13,\$C\$4*B13,"")	=SI(C7>=A13,\$C\$5*\$C\$4/F13,"")	=SI(\$C\$7>=A13,\$C\$6*B13*F13/2,"")	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(G13:I13),"")	
14				=SI(	=SI(\$C\$7>=A14,\$C\$4*B14,"")	=SI(C7>=A14,\$C\$5*\$C\$4/F14,"")	=SI(\$C\$7>=A14,\$C\$6*B14*F14/2,"")	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(G14:I14),"")	
15				=SI(	=SI(\$C\$7>=A15,\$C\$4*B15,"")	=SI(C7>=A15,\$C\$5*\$C\$4/F15,"")	=SI(\$C\$7>=A15,\$C\$6*B15*F15/2,"")	=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(G15:I15),"")	
16				=SI(	=SI(\$C\$7>=A16,\$C\$4*B16,"")	=SI(C7>=A16,\$C\$5*\$C\$4/F16,"")	=SI(\$C\$7>=A16,\$C\$6*B16*F16/2,"")	=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(G16:I16),"")	
17				=SI(	=SI(\$C\$7>=A17,\$C\$4*B17,"")	=SI(C7>=A17,\$C\$5*\$C\$4/F17,"")	=SI(\$C\$7>=A17,\$C\$6*B17*F17/2,"")	=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(G17:I17),"")	
18									

Figura 70. Plantilla descripción de costos de descuento por cantidad en todas las unidades

El cálculo del costo anual de compra se ejemplifica con la evaluación de la celda G13 de la plantilla que se muestra en la figura 70, con la fórmula descrita en la figura 71.

$$=SI(\$C\$7 >= A13, \$C\$4 * B13, "")$$

Aseguramos que el
 intervalo se
 encuentre dentro
 del intervalo de
 análisis

$\uparrow$ $\uparrow$
 $D * c_j$

Figura 71. Fórmula para el cálculo del costo anual de compra con descuento en todas las unidades

En la plantilla de Excel® se calcula el costo anual de ordenar con la fórmula (35) a partir de la celda H11 y hasta la celda H17 (véase la figura 70).

$$\text{Costo anual de ordenar} = A * D / Q_j^* \quad (34)$$

Donde:

D Demanda por unidad de tiempo

A Costo de ordenar (\$/orden)

Q_j^* Cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j

El cálculo del costo anual de ordenar se ejemplifica con la evaluación de la celda H13 de la plantilla que se muestra en la figura 70, con la fórmula descrita en la figura 72.

$$=SI(C7 >= A13, \$C\$5 * \$C\$4 / F13, "")$$

Aseguramos que
 el intervalo se
 encuentre dentro
 del intervalo de
 análisis

$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$
 $A * D / Q_j^*$

Figura 72. Fórmula para el cálculo del costo anual de ordenar con descuento en todas las unidades

En la plantilla de Excel® se calcula el costo anual de mantener con la fórmula (35) a partir de la celda I11 y hasta la celda I17 (véase la figura 70).

$$\text{Costo de mantener} = i * c_j * Q_j^* / 2 \quad (35)$$

Donde:

- c_j Costo unitario de intervalo de descuento j (\$/unidad)
 i Costo total anual de mantener el inventario (% por año)
 Q_j^* Cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j

El cálculo del costo anual de mantener se ejemplifica con la evaluación de la celda I13 de la plantilla que se muestra en la figura 70, con la fórmula descrita en la figura 73.

$$=SI(\$C\$7>=A13, \$C\$6*B13*F13/2, "")$$

$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$
 $i \quad * \quad c_j \quad * \quad Q_j^* / 2$
 Aseguramos que
 el intervalo se
 encuentre dentro
 del intervalo de
 análisis

Figura 73. Fórmula para el cálculo del costo anual de mantener con descuento en todas las unidades

El costo promedio anual del inventario corresponde a la suma del costo anual de compra, el costo anual de ordenar más el costo anual de mantener. En la plantilla de Excel® se calcula el costo total variable con la fórmula (36) a partir de la celda J11 y hasta la celda J17 (véase la figura 70).

$$K(Q_j^*) = D * c_j + A * D/Q_j^* + i * c_j * Q_j^*/2 \quad (36)$$

Donde:

- $K(Q_j^*)$ Costo total variable del inventario con descuento en todas las unidades
 Q_j^* Cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j
 D Demanda por unidad de tiempo
 A Costo de ordenar (\$/orden)
 c_j Costo unitario de intervalo de descuento j (\$/unidad)
 i Costo total anual de mantener el inventario (% por año)

Al ser evaluados los costos variables de todos los intervalos de descuento, se calcula cuál de ellos corresponde a mínimo valor. A manera de poder determinar la cantidad óptima por ordenar global a la que corresponda el costo

mínimo, el costo variable mínimo se calcula en la plantilla de Excel® con la fórmula (37) en la celda C21.

$$K(Q^*) = \min_{\forall j} \{K(Q_j^*)\} \quad (37)$$

Donde:

$K(Q^*)$ Costo variable óptimo para todos los intervalos de descuento
 $K(Q_j^*)$ Costo variable de la cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j

Al identificar el costo óptimo para cada intervalo, se puede determinar la cantidad óptima a ordenar para todos los intervalos como aquella cantidad que corresponde al mínimo valor del costo óptimo de todos los intervalos.

La cantidad óptima para ordenar se calcula en la plantilla de Excel® con la fórmula (38) en la celda C20.

$$Q^* = Q_j^*, \text{ que corresponda al } \min_{\forall j} \{K(Q_j^*)\} \quad (38)$$

Donde:

$K(Q_j^*)$ Costo variable de la cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j
 Q_j^* Cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j
 Q^* Cantidad óptima para todos los intervalos de descuento

5.2 Descuento por cantidad incremental

En el descuento incremental, la reducción del precio aplica en las unidades que exceden la cantidad de intervalo de descuento. En el descuento incremental, la reducción en el costo unitario aplica a las unidades que se compran dentro del intervalo de descuento. Como el costo aplica únicamente a las unidades que se adquieran en el intervalo de descuento, la función de costo es dependiente de las unidades que ya se hayan adquirido extra por

intervalo; por lo tanto, el objetivo es determinar en qué cantidad a adquirir incrementa el costo anual y es menor. En la plantilla de Excel® se calcula la cantidad para ordenar del intervalo con descuento incremental con la fórmula (38) en las celdas E11 a E17 (véase la figura 74).

$$Q_j = \sqrt{2D[A + C(q_{j-1}) - c_j * q_{j-1}] / (ic_j)} \quad (38)$$

Donde:

Q_j	Cantidad para ordenar en el intervalo de descuento incremental j
D	Demanda por unidad de tiempo
A	Costo de ordenar (\$/orden)
$C(q_{j-1})$	Función de costo incremental evaluada en q_{j-1}
q_{j-1}	Límite inferior del j -ésimo intervalo de corte de precio
c_j	Costo unitario de intervalo de descuento j (\$/unidad)
i	Costo total anual de mantener el inventario (% por año)

Descuento por cantidad incremental				
Datos		Datos		
Demanda	3000	es		
Costo de ordenar	150	\$ por		
Tasa de mantener	0.4	%		
Número de intervalos de descuento	3			
Rango de cantidades a		Límite superior		
Intervalo	costo unitario	Límite inferior	Límite superior	EOQ
1	9.5	1	300	=SI(\$C\$7>=A12,RAIZ(2*\$C\$4*(SC\$5+B12*C12-B12*(C12-B12)/(SC\$6*B12)),""))
2	9.2	301	500	=SI(\$C\$7>=A13,RAIZ(2*\$C\$4*(SC\$5+B12*D12+B13*(C13-D12)-B13*(C13-B13)/(SC\$6*B13)),""))
3	9	501	9,99999	=SI(\$C\$7>=A14,RAIZ(2*\$C\$4*(SC\$5+B12*D12+B13*(D13-D12)+B14*(C14-D13)-B14*(C14-B14)/(SC\$6*B14)),""))
4				=SI(\$C\$7>=A15,RAIZ(2*\$C\$4*(SC\$5+B12*D12+B13*(D13-D12)+B14*(D14-D13)+B15*(C15-D14)-B15*(C15-B15)/(SC\$6*B15)),""))
5				=SI(\$C\$7>=A16,RAIZ(2*\$C\$4*(SC\$5+B12*D12+B13*(D13-D12)+B14*(D14-D13)+B15*(D15-D14)+B16*(C16-D15)-B16*(C16-B16)/(SC\$6*B16)),""))
6				=SI(\$C\$7>=A17,RAIZ(2*\$C\$4*(SC\$5+B12*D12+B13*(D13-D12)+B14*(D14-D13)+B15*(D15-D14)+B16*(D16-D15)+B17*(C17-D16)-B17*(C17-B17)/(SC\$6*B17)),""))
7				=SI(\$C\$7>=A18,RAIZ(2*\$C\$4*(SC\$5+B12*D12+B13*(D13-D12)+B14*(D14-D13)+B15*(D15-D14)+B16*(D16-D15)+B17*(D17-D16)+B18*(C18-D17)-B18*(C18-B18)/(SC\$6*B18)),""))
Resultados				
Cantidad óptima a ordenar		=SI((C22-K12)>12,MIN(K12-K18))		
Costo total variable				
Número esperado de órdenes		=C4/C21		

Figura 74. Plantilla para cálculo de cantidad a ordenar por intervalo en el descuento por cantidad incremental

Sin embargo, esta cantidad a ordenar del intervalo (Q_j), no necesariamente se encuentra dentro del intervalo de descuento en que se aplica el descuento. Por lo cual, la cantidad óptima a ordenar del intervalo (Q_j^*) en la plantilla de Excel® se calcula con la fórmula (33) en las celdas F11 a F17 (véase la figura 75).

de la celda H12 y a hasta la celda H18; también se calcula el costo anual de ordenar con la fórmula (34) a partir de la celda I12 y hasta la celda I18; asimismo, se calcula el costo anual de mantener con la fórmula (35) a partir de la celda J12 y hasta la celda J18; para finalmente obtener el costo total variable con la fórmula (40) a partir de la celda K12 y hasta la celda K18 (véase la figura 76).

[illegible]

Figura 76. Plantilla para cálculo de costos con descuento por cantidad incremental

$$K(Q_j^*) = D * \frac{C'(Q_j^*)}{Q_j^*} + A * \frac{D}{Q_j^*} + i * \frac{C'(Q_j^*)}{Q_j^*} * \frac{Q_j^*}{2} \quad (40)$$

Donde:

$$K(Q_i^*) \quad \text{Costo total variable del inventario con descuento incremental}$$

Q_j^* Cantidad óptima para ordenar en el intervalo de descuento j

D	Demanda por unidad de tiempo
-----	------------------------------

A	Costo de ordenar (\$/orden)
-----	-----------------------------

c_j	Costo unitario de intervalo de descuento j (\$/unidad)
-------	--

Costo total anual de mantener el inventario (% por año)

$C'(Q_i^*)$	Función de costo incremental evaluada en Q_i^*
-------------	--

Al ser evaluados los costos variables de todos los intervalos de descuento, se calcula cuál de ellos corresponde al mínimo valor. A manera de poder determinar la cantidad óptima a ordenar global a la que corresponda el costo mínimo, el costo variable mínimo se calcula en la plantilla de Excel® con la fórmula (37) en la celda C22 (véase la figura 77).

Al identificar el costo óptimo para todos los intervalos, se determina la cantidad óptima por ordenar a la cantidad que corresponde al valor de mínimo costo de todos los intervalos.

La cantidad óptima para ordenar se calcula en la plantilla de Excel® con la fórmula (38) en la celda C21 (véase la figura 77). En la celda C21 se proporciona la cantidad recomendada a ordenar considerando el intervalo de descuento incremental que tenga menor costo.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
11	costo unitario	Límite inferior	e	EOQ	Q*	Q	an	anu	an	Costo total variable
12	9.5	1	300	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(H12:I12),""	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(H12:I12),""	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(H12:I12),""	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(H12:I12),""	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(H12:I12),""	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(H12:I12),""	=SI(\$C\$7>=A12,SUMA(H12:I12),""
13	9.2	301	500	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(H13:I13),""	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(H13:I13),""	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(H13:I13),""	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(H13:I13),""	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(H13:I13),""	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(H13:I13),""	=SI(\$C\$7>=A13,SUMA(H13:I13),""
14	9	501	9.9	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(H14:I14),""	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(H14:I14),""	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(H14:I14),""	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(H14:I14),""	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(H14:I14),""	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(H14:I14),""	=SI(\$C\$7>=A14,SUMA(H14:I14),""
15				=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(H15:I15),""	=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(H15:I15),""	=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(H15:I15),""	=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(H15:I15),""	=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(H15:I15),""	=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(H15:I15),""	=SI(\$C\$7>=A15,SUMA(H15:I15),""
16				=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(H16:I16),""	=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(H16:I16),""	=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(H16:I16),""	=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(H16:I16),""	=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(H16:I16),""	=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(H16:I16),""	=SI(\$C\$7>=A16,SUMA(H16:I16),""
17				=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(H17:I17),""	=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(H17:I17),""	=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(H17:I17),""	=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(H17:I17),""	=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(H17:I17),""	=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(H17:I17),""	=SI(\$C\$7>=A17,SUMA(H17:I17),""
18				=SI(\$C\$7>=A18,SUMA(H18:I18),""	=SI(\$C\$7>=A18,SUMA(H18:I18),""	=SI(\$C\$7>=A18,SUMA(H18:I18),""	=SI(\$C\$7>=A18,SUMA(H18:I18),""	=SI(\$C\$7>=A18,SUMA(H18:I18),""	=SI(\$C\$7>=A18,SUMA(H18:I18),""	=SI(\$C\$7>=A18,SUMA(H18:I18),""
19										
20	Resultados									
21	Cantidad óptima a ordenar	=SI(C22=K12,F12,SI(C22=K13,F13,SI(C22=K14,F14,SI(C22=K15,F15,SI(C22=K16,F16,SI(C22=K17,F17,SI(C22=K18,F18))))))								
22	Costo total variable	=MIN(K12:K18)								
23	Número esperado de ordenes	=C4/C21								

Figura 77. Plantilla para cálculo de valores óptimos de descuento por cantidad incremental

5.3 Conclusiones de la práctica 4

En este tema se revisaron los modelos de inventario con descuento por cantidad en todas las unidades y el modelo de inventario con descuento incremental. En ambos casos, se explicó cómo determinar la cantidad óptima a ordenar después de calcular los correspondientes valores de los intervalos de descuento.

Bibliografía

CHASE, R. B., JACOBS, F. R. (2020). *Administración de operaciones: producción y cadena de suministros* (Vol. 6). México: Mc Graw Hill Interamericana.

Facultad de Ingeniería, *Plan de Desarrollo 2019-2023*, UNAM.
https://www.ingenieria.unam.mx/planeacion/eg/plan19_23/pdd2019-2023.pdf

Facultad de Ingeniería, *Plan de desarrollo 2023-2027*, UNAM
https://www.ingenieria.unam.mx/planeacion/eg/PDD2023-2027/PDD2023-2027_imp.pdf

FREY Aranza, R.M., RODRÍGUEZ Alvarado, R. asesora Gabriela López Sánchez, (2005). Propuesta para la implementación de un laboratorio de planeación y control de la producción dentro de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, tesis UNAM.

HILLIER, F. S., LIBERMAN, G. J., (2023). *Introducción a la Investigación de Operaciones*, Mc Grw-Hill Interamericana de España.

LÓPEZ Visoso, J.C. asesor Guillermo Santos Olmos, (2014). Actualización del manual de prácticas del laboratorio de planeación y control de la producción, tesis UNAM.

LUCAS García, J. asesora Esther Segura Pérez, (2017). Apuntes complementarios de planeación y control de la producción, Material didáctico UNAM.

SIPPER, D., & BULFIN, R. (1998). Planeación y control de la producción. Editorial Mc Graw Hill Education, 684 pp.

VERA Sandoval, M. asesora Susana Casy Téllez Ballesteros, (2016). Prácticas de laboratorio para planeación y control de la producción y manufactura Lean, tesis UNAM.



UNIDAD DE APOYO EDITORIAL

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE
PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN**

Se publicó la primera edición electrónica de un ejemplar
(13 MB) en formato PDF en octubre de 2025,
en el repositorio de la Facultad de Ingeniería, UNAM,
Ciudad Universitaria, Ciudad de México. C.P. 04510

El diseño estuvo a cargo de la Unidad de Apoyo Editorial
de la Facultad de Ingeniería. Las familias tipográficas utilizadas
fueron Source Serif Pro para
texto, Sienna Math Pro para fórmulas y Rubik para titulares.