



# PRINCIPIOS DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN UNA REVISIÓN TEÓRICA Y APLICADA DE LOS CONCEPTOS

Óscar Mauricio Gelves Alarcón

Elisa del Carmen Navarro Romero



PRINCIPIOS DE LA  
GESTIÓN DE LA  
PRODUCCIÓN  
UNA REVISIÓN  
TEÓRICA Y APLICADA  
DE LOS CONCEPTOS



# PRINCIPIOS DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN UNA REVISIÓN TEÓRICA Y APLICADA DE LOS CONCEPTOS

Óscar Mauricio Gelves Alarcón

Elisa del Carmen Navarro Romero



Gelves Alarcón, Óscar Mauricio  
Principios de la gestión de la producción: Una revisión teórica y aplicada de los conceptos / Óscar Mauricio Gelves Alarcón y Elisa del Carmen Navarro Romero, Bogotá: Ediciones USTA, 2021.  
86 páginas; gráficos y tablas

Incluye referencias bibliográficas (página 85)

ISBN: 978-958-782-466-7

E-ISBN: 978-958-782-467-4

1. Gestión de fábrica - gestión de producción 2. Fabricación - gestión de la producción 3. Gestión de producto 4. Gestión de productos - producción 5. Control de producción - gestión  
I. Universidad Santo Tomás (Colombia).

CDD 658.5

CO-BOUST

© Óscar Mauricio Gelves Alarcón, Elisa del Carmen Navarro Romero, autores, 2021  
© Universidad Santo Tomás, 2021

Ediciones USTA  
Bogotá, D. C., Colombia  
Carrera 9 n.º 51-11  
Teléfono: (+571) 587 8797, ext. 2991  
editorial@usantotomas.edu.co  
<http://ediciones.usta.edu.co>

Corrección de estilo:  
Angie Xiomara Bernal Salazar  
Diagramación y diseño de cubierta:  
Yully Cortés  
Impresión: Xpress Estudio Gráfico y Digital S.A.S. -  
Kimpres

Hecho el depósito que establece la ley  
ISBN: 978-958-782-466-7  
e-ISBN: 978-958-782-467-4  
Primera edición, 2021

Las imágenes incluidas en esta publicación  
son gratis para usos comerciales, tomadas de

Freepik.com  
Universidad Santo Tomás  
Vigilada Mineducación  
Reconocimiento personería jurídica:  
Resolución 3645 del 6 de agosto de 1965,  
Minjusticia Acreditación Institucional de Alta  
Calidad Multicampus: Resolución 01456  
del 29 de enero de 2016, 6 años, Mineducación

*Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, sin la autorización expresa del titular de los derechos.*

Impreso en Colombia • *Printed in Colombia*

*A mi hija Manuela, a mi esposa Diana, a mis padres, hermanos, estudiantes  
y en especial a Diego Fernando Sánchez Zambrano (QEPD), compañero en la  
Universidad Santo Tomás.*

ÓSCAR MAURICIO GELVES ALARCÓN

*A Dios, por su constante respaldo en los logros alcanzados, al ingeniero Óscar  
Gelves por su trabajo colaborativo, a mis padres, y a nuestro compañero  
de investigación Diego Fernando Sánchez Zambrano (QEPD), que siempre le  
apostó a compartir desinteresadamente el conocimiento.*

ELISA DEL CARMEN NAVARRO ROMERO



# Contenido

<b>Introducción</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo 1. Teoría y desarrollo histórico de la gestión de la producción</b>	<b>17</b>
1.1 Clasificación según nivel de producción	17
1.2 Clasificación según tipo de productos	18
1.3 Clasificación según la secuencia de fabricación	18
1.4 Evolución histórica de la producción	18
1.4.1 Producción artesanal	20
1.4.2 Producción en serie	20
1.4.3 Producción flexible	20
1.4.4 Teoría de restricciones	21
1.5 La gestión de la producción en la actualidad	21
<b>Capítulo 2. Pronósticos: herramienta para la administración de la demanda</b>	<b>23</b>
2.1 Parámetros de una serie de tiempo	24
2.2 Métodos de series de tiempo	25
2.2.1 Método promedio móvil simple	25
Ejemplo 1	26
2.2.2 Suavizamiento exponencial	27
Ejemplo 2	28
2.2.3 Suavizamiento exponencial con tendencia	29
Ejemplo 3	29
2.2.4 Métodos de patrones estacionales	31
Ejemplo 4	31

2.3 Métodos correlacionales	32
2.3.1 Regresión lineal	32
Ejemplo 5	33
2.4 Errores de pronóstico	34
Ejemplo 6	35
2.5 Pronósticos cualitativos	36
Taller de ejercicios	36
Ejercicio 1	36
Ejercicio 2	37
Ejercicio 3	37
Ejercicio 4	38
Ejercicio 5	38
<b>Capítulo 3. Capacidad de producción</b>	<b>39</b>
3.1 Capacidad teórica	39
3.2 Capacidad instalada	39
3.3 Capacidad disponible	40
Ejemplo 7	40
Ejemplo 8	41
3.4 Consideraciones de la capacidad	43
3.5 Suplemento OEE ( <i>Overall Equipment Effectiveness</i> )	43
Ejemplo 9	44
Taller de ejercicios	45
Ejercicio 1	45
Ejercicio 2	46
Ejercicio 3	47
<b>Capítulo 4. Plan agregado de producción</b>	<b>49</b>
4.1 Métodos de planeación agregada	49
4.1.1 Método de fuerza laboral variable	50
4.1.2 Método de inventarios y faltantes	50
4.1.3 Método de subcontratación	51
4.1.4 Método de horas extras	51
Ejemplo 10	52
4.2 Estrategias mixtas	55
Ejemplo 11	55
Ejemplo 12	56

4.3 Planeación agregada con programación lineal	57
Ejemplo 13	58
Taller de ejercicios	61
Ejercicio 1	61
Ejercicio 2	62
Ejercicio 3	62
Ejercicio 4	63

## Capítulo 5. Plan Maestro de Producción (MPS) y Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) 65

5.1 Plan Maestro de Producción (MPS)	65
Ejemplo 14	65
5.2 Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)	66
5.2.1 Desventajas del Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)	67
5.2.2 Lógica del Plan de Requerimientos de Material (MRP)	67
Ejemplo 15	68
5.2.3 Programación de requerimientos netos	69
Ejemplo 16	70
5.3 Cálculo del tamaño del lote en el Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)	72
Ejemplo 17	72
5.3.1 Método lote por lote (LXL)	73
5.3.2 Método EOQ (cantidad económica de pedido)	73
5.3.4 Método de cantidad periódica	74
Taller de ejercicios	75
Ejercicio 1	75
Ejercicio 2	75
Ejercicio 3	76

## Capítulo 6. Programación y secuenciación de operaciones 77

6.1 Razón crítica	78
Ejemplo 18	78
6.2 Reglas de prioridad	79
Ejemplo 19	79

6.2.1 Regla de prioridad LPT	80
6.2.2 Regla de prioridad EMP	80
6.2.4 Regla de prioridad SPT	81
6.3 Secuencia de máquinas en serie	81
Ejemplo 20	82
Taller de ejercicios	83
Ejercicio 1	83
Ejercicio 2	83
Discusión y recomendaciones	83
Conclusiones	84
Referencias	85
Sobre los autores	87

# Lista de figuras

<b>Figura 1. Aleatoriedad de datos</b>	24
Figura 2. Tendencia de datos	24
Figura 3. Estacionalidad de datos	25
Figura 4. Pronóstico realizado con promedio móvil simple	27
Figura 5. Pronóstico realizado con suavizamiento exponencial	29
Figura 6. Pronóstico realizado con suavizamiento exponencial con tendencia	30
Figura 7. Pronóstico realizado con regresión lineal	34
Figura 8. Diagrama taller de maquinado	45
Figura 9. Diagrama de bloques de línea de producción	46
Figura 10. Ejemplo de explosión de materiales	67
Figura 11. Explosión de materiales ejemplo 13	68
Figura 12. Plan escalonado de fechas de entrega	68
Figura 13. Explosión de materiales ejemplo 16	70
Figura 14. Explosión de materiales para elaboración de silla	76
Figura 15. Diagrama de Gantt de la programación de órdenes de trabajo	82



# Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Evolución histórica de la gestión de la producción	19
Tabla 2. Demanda semanal de pizzas ejemplo 1	26
Tabla 3. Pronóstico de pizzas con promedio móvil simple	27
Tabla 4. Demanda de unidades en fábrica de juguetes ejemplo 2	28
Tabla 5. Pronóstico con set del ejemplo 3	30
Tabla 6. Desarrollo de pronóstico con indicadores estacionales	31
Tabla 7. Resultado del pronóstico con indicadores estacionales	32
Tabla 8. Datos de precios y ventas del ejemplo 5	33
Tabla 9. Resultados de cálculos de errores de pronósticos	35
Tabla 10. Datos de cada centro de trabajo ejemplo 7	40
<b>Tabla 11.</b> Información base para formulación de pronósticos de capacidades ejemplo 8	41
<b>Tabla 12.</b> Niveles de categorización del OEE	44
Tabla 13. Datos de demanda y días laborables	52
Tabla 14. Resultados del plan agregado de fuerza laboral variable	52
Tabla 15. Resultados del plan agregado de faltantes e inventarios	53
Tabla 16. Resultados del plan agregado de subcontratación	54
Tabla 17. Resultados del plan agregado de horas extras	54
Tabla 18. Parámetros para elaboración de plan agregado ejemplo 12	55

Tabla 19. Resultados de plan agregado mixto ejemplo 11	56
Tabla 20. Parámetros para el desarrollo del plan agregado ejemplo 12	56
Tabla 21. Resultados de plan agregado mixto ejemplo 12	57
Tabla 22. Datos para la elaboración de plan agregado ejemplo 13	59
Tabla 23. Cuadro de transporte	60
Tabla 24. Datos para Plan Maestro de Producción (MPS) ejemplo 14	66
Tabla 25. Desarrollo de Plan Maestro de Producción (MPS) ejemplo 14	66
Tabla 26. Desarrollo de Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) ejemplo 15	69
Tabla 27. Tabla de programación de requerimientos netos	69
Tabla 28. Desarrollo del Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) ejemplo 16	70
Tabla 29. Datos para sistema de loteo ejemplo 17	72
Tabla 30. Resultados del método lote por lote (LXL) ejemplo 17	73
Tabla 31. Resultados de EOQ (cantidad económica de pedido) ejemplo 17	74
Tabla 32. Resultados de cantidad periódica ejemplo 17	74
Tabla 33. Datos secuenciación ejemplo 18	78
Tabla 34. Datos secuenciación ejemplo 19	79
Tabla 35. Solución de secuenciación ejemplo 19	79
Tabla 36. Solución de regla LPT ejemplo 19	80
Tabla 37. Solución de regla EMP ejemplo 19	80
Tabla 38. Solución por regla SPT ejemplo 19	81
Tabla 39. Datos de ejercicio Johnson ejemplo 20	82

# Introducción

La gestión de la producción es un espacio académico importante en los planes de estudio de ingeniería industrial, en este sentido, proponemos este libro como un acercamiento al área de producción, que permita a los estudiantes aumentar sus conocimientos sobre esta asignatura y aplicar estas técnicas en su experticia profesional. Para el desarrollo de esta publicación se tuvieron en cuenta libros especializados en la administración de operaciones y planeación de la producción, de autores como Jacobs [1], Heizer [2], [3] y Sipper [4], así como apuntes de clase del espacio académico Gestión de Producción de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Santo Tomás.

El libro contiene seis capítulos y un suplemento. En el primer capítulo se definen los tipos de gestión de la producción y la evolución histórica; en el segundo, se explican las diferentes técnicas de pronósticos y su aplicación en la planeación de la producción; en el tercero, se definen los conceptos de capacidad de producción y se explican los cálculos de capacidad en los procesos; a continuación, se incluye un suplemento relacionado con los indicadores OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que miden la eficiencia, calidad y disponibilidad de un sistema productivo, como parte de la herramienta Lean TPM (Mantenimiento Total Productivo). En el cuarto capítulo se explica la técnica de planeación agregada para el desarrollo de planes de producción a mediano plazo y la identificación del mejor plan basado en la minimización de costos, teniendo en cuenta estrategias puras y mixtas, así como la aplicación de la programación lineal para este tema. En el quinto capítulo se abordan el Plan Maestro de Producción (MPS) y el Plan de Requerimientos de Materiales (MRP), con el propósito de definir el número y el momento de expedición de las órdenes de producción y compra de los productos e insumos. Finalmente, en el sexto capítulo, se explican las reglas de secuenciación de órdenes de producción y la programación de producción por medio de las técnicas de razón crítica, reglas de prioridad y reglas de Johnson.

Este libro se centra en describir y explicar, mediante ejemplos y cuestionamientos, los conceptos de planeación y programación de la producción, además, muestra cómo realizar un análisis de la eficiencia de máquinas y procesos. En este sentido, se pretende generar y fortalecer en el estudiante, de una forma ágil y ejemplificada, la capacidad de analizar y resolver problemas de producción, a partir de:

- ▶ Conocer la eficiencia de sus procesos.
- ▶ Recoger datos para ser capaz de analizar el rendimiento actual y compararlo con tendencias anteriores.
- ▶ Fijar un objetivo de mejora realista en la productividad.
- ▶ Cuantificar las pérdidas de tiempos en los procesos.
- ▶ Cuantificar el impacto de las mejoras a incluir en los procesos para estudiar su viabilidad. [5, p. 11]
- ▶ Solo se considera información importante, “eliminando distractores, con una complejidad media, que despierte el interés del alumno y que permita el análisis e interpretación de información” [6, p. 4].
- ▶ Los ejercicios se encuentran agrupados por temática.
- ▶ Los ejercicios han sido redactados en un lenguaje fácilmente entendible para estudiantes de pregrado.
- ▶ En cada tema se incluyen algunos ejercicios resueltos y se plantean otros para ser desarrollados por los estudiantes.

El criterio de selección de los problemas de estudio obedece a los objetivos del libro y sigue el mismo orden señalado en este. El diseño de los problemas o casos de estudio se remite a la experiencia de los autores, y los ejercicios incluidos se basan en los siguientes parámetros:

- ▶ Enfoque de costos industriales asociados a los procesos de producción, relativos específicamente a cada tema de estudio.

A partir de la necesidad y la utilidad que puede representar el libro para los estudiantes interesados, se conformó un colectivo de autores para revisar y evaluar la temática relevante de la gestión de la producción, luego se realizó un análisis del plan de estudio de la asignatura, se construyó el documento con base en la experiencia de los docentes autores y otros textos revisados, se evaluó el libro de texto mediante la consulta a expertos y, finalmente, se adecuó para publicación.

# Capítulo 1. Teoría y desarrollo histórico de la gestión de la producción

El interés que genera para las empresas ser competitivas es ampliamente conocido, no solo para crear y desarrollarse en los diferentes sectores económicos, sino para lograr sobrevivir en el tiempo, enfocado en tres aspectos esenciales: 1) concederle una orientación al sistema y al proceso productivo; 2) reorganizar el sistema de producción en función de tareas o misiones estratégicas; e 3) impactar en la competitividad de la empresa, para contribuir a su formulación e implementación. En este sentido, dados el dinamismo y la incertidumbre del entorno, resulta necesario repensar la función de producción/operaciones, como una manera de obtener ventajas competitivas para la empresa, por medio del diseño e implementación de estrategias de fabricación que resulten coherentes con la misión empresarial global.

17

La producción de bienes o servicios es la actividad económica que genera un valor agregado a los clientes o usuarios. La clasificación de la producción se determina de la siguiente manera: 1) nivel de producción, 2) tipo de productos y 3) secuencias de fabricación.

## 1.1 Clasificación según nivel de producción

El nivel de producción se puede clasificar en dos niveles: continuo e intermitente, el primero consiste en una *producción ininterrumpida* en el tiempo, de carácter masivo, por lo general, también se denomina *flow shop*; claros ejemplos de este tipo de producción son las cadenas de automóviles y embotelladoras de bebidas, fábricas con producciones continuas, que tienen pocos números de referencias o SKU (*Stock Keeping Unit*) y altos niveles de producción.

El segundo nivel de producción corresponde a la *producción intermitente*, el cual no requiere continuidad en el tiempo y se establece con productos no tipificados, además, se caracteriza por contar con componentes de proceso polivalentes. Varios autores consideran que este nivel es equivalente al sistema *Job Shop*, donde se observan bajos volúmenes de producción y una gran variedad de SKU, tales como carpinterías y maquinados mecánicos.

## 1.2 Clasificación según tipo de productos

Según el tipo de productos, se estiman dos categorías para la clasificación de los sistemas productivos: *producción simple* y *producción múltiple*. La producción simple es el proceso de producir o elaborar un solo producto y, por lo general, hace énfasis en la explotación de productos primarios, como los *commodities* o recursos naturales, por ejemplo, el café, el oro y el petróleo —cabe resaltar que este tipo de producción no se estudia en los textos de gestión de la producción—. Por su parte, la producción múltiple consiste en la fabricación de productos diferenciados o variados, los cuales son interdependientes y se caracterizan por pertenecer a familias de productos, con factores comunes.

## 1.3 Clasificación según la secuencia de fabricación

Según la secuencia o continuidad en la fabricación, la producción se puede clasificar en mono-etapa, bi-etapa y multi-etapa; el número de las etapas depende exclusivamente de los flujos de operación. Los *sistemas de producción mono-etapa* consisten en la transformación del producto en un solo flujo de operaciones, que se puede considerar también como un sistema convencional. Los *sistemas de producción bi-etapa* son aquellos que tienen dentro de su proceso dos tipos de flujos, por ejemplo, fabricación y montaje. Por último, los *sistemas de producción multi-etapa* corresponden a procesos complejos en los que se unifican varios flujos de operaciones en la fabricación, por ejemplo, el montaje de los

componentes en subconjuntos y de estos en conjuntos de productos terminados.

## 1.4 Evolución histórica de la producción

La producción surgió cuando el ser humano se volvió sedentario e inventó la agricultura. Este descubrimiento se dio de forma espontánea, guiado por el deseo de satisfacer necesidades básicas, en la actualidad, la producción cuenta con gran importancia, dado que es una base fundamental de la economía mundial.

El concepto de producción ha tenido cambios durante los años, inicialmente, se definió como un proceso para obtener algo útil y vendible, no obstante, la realidad refuta esta definición, dado que no todo lo que se produce es útil o vendible. En este sentido, la producción se podría definir como un proceso de transformación social de la naturaleza en objetos de valor y de uso, mediante el trabajo y el capital, articulados como un conjunto de partes o elementos relacionados entre sí para formar un todo, a manera de sistema.

La historia de la producción se puede clasificar o enmarcar en cuatro grandes etapas: 1) producción artesanal, 2) producción en serie, 3) producción flexible y 4) teoría de restricciones.

- ▶ Producción artesanal: característica del periodo previo a la Revolución Industrial, cuando la producción de bienes se basaba en la mano de obra esclava o la servidumbre. Cuenta con una limitada estandarización de los procesos y niveles bajos de producción.

- ▶ **Producción en serie:** se origina con la Revolución industrial, cuando se establece la especialización del trabajo que genera líneas de producción y montaje, en empresas como Ford; asimismo, conlleva la estandarización de los procesos y el aumento en los niveles de producción. El enfoque de la producción en serie es la minimización de los costos de producción.
- ▶ **Producción flexible:** inicia en Japón en las décadas de 1950 y 1960, basada en los elementos del sistema de producción Toyota, enfocado en la disminución del desperdicio en los procesos, implementación de la filosofía Kaizen para la mejora continua de procesos, reducción en los lotes de producción e inventarios.
- ▶ **Teoría de restricciones:** filosofía de producción basada en el manejo de los cuellos de botella para aumentar el *throughput* (flujo de ganancia) y enfocarse en el aumento de las utilidades de la empresa, la creación de la teoría de restricciones se basa los trabajos de Eliyahu Goldratt en los años ochenta.

A continuación, en la tabla 1 se muestra la evolución histórica de la gestión de la producción.

**Tabla 1.** Evolución histórica de la gestión de la producción

Clases de producción	Características	Periodo histórico
Producción artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos niveles de producción.</li> <li>• Producción con baja estandarización.</li> </ul>	Entre el periodo Neolítico y la Revolución industrial.
Producción en serie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea de ensamble.</li> <li>• Producción masiva.</li> <li>• Enfoque en la disminución de los costos.</li> </ul>	1700-1970
Producción flexible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque en la calidad.</li> <li>• Mejora continua.</li> <li>• Eliminación de los desperdicios.</li> </ul>	1970-2000
Teoría de restricciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de los cuellos de botella.</li> <li>• Incrementar la utilidad de la organización.</li> </ul>	1980

Fuente: elaboración propia.

### 1.4.1 Producción artesanal

La producción artesanal es un sistema de producción antiguo, vigente antes de la Revolución Industrial, caracterizado por una mano de obra basada en la esclavitud o la servidumbre, volúmenes de producción muy bajos, ausencia de división del trabajo y limitación de la generación de conocimiento a pocas personas conocidas como maestros de taller, lo que dificultaba la posibilidad de estandarización. Sin embargo, existieron casos excepcionales como el arsenal de Venecia, Italia [4], a finales de la Edad Media y principios del Renacimiento, que tenía alrededor de dos mil empleados, enfocados en construir la mayor cantidad posible de barcos con el propósito de dominar el Mediterráneo.

### 1.4.2 Producción en serie

La producción industrial nació en el siglo XVIII en Inglaterra con la Revolución Industrial y la aparición de nuevas herramientas como la máquina de vapor de Watt, el ferrocarril, el concepto de fábrica y los estudios de Adam Smith relacionados con la división del trabajo, que conllevaron la especialización de varias tareas, el cambio de los instrumentos manuales a máquinas y el establecimiento del trabajo asalariado. En este periodo se empieza a generar la producción en masa, debido a las máquinas que aumentaron los niveles de producción y ampliaron la cadena de abastecimiento, esto generó la posibilidad de crear nuevos mercados fuera del continente europeo, gracias

también a la evolución de los medios de transporte como el ferrocarril y los barcos de vapor. En Estados Unidos se crearon líneas de ensamble a partir de la especialización de la mano de obra, lo que generó una mayor productividad y una disminución de los costos de producción. A principios del siglo XX aparecieron las teorías administrativas, algunas en procura del aumento de la productividad, como las propuestas por Taylor y Ford. Las líneas de ensamble y la necesidad de bienes por parte del mercado dieron lugar a la producción en serie o masiva, predominante hasta mediados del siglo XX en la forma de producción de bienes. Se puede afirmar que esta época tuvo como objetivo la disminución de los costos.

### 1.4.3 Producción flexible

Después de la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos colaboró para mejorar las condiciones de las fábricas manufactureras japonesas y restaurar la economía devastada de este país. A partir de las teorías de calidad de Edward Deming, Japón se enfocó en el mejoramiento de la calidad de sus productos y procesos, esto generó que desde los años ochenta se conocieran nuevas técnicas de gestión de producción en Occidente, como *Just in Time* y *Kanban*, creadas por la empresa Toyota e implementadas con éxito en sus fábricas para desarrollar productos de bajo costo y con altos estándares de calidad. Esta búsqueda de la mejora continua permitió eliminar desperdicios, excesos de producción e inventarios, y la programación de

lotes de producción pequeños. La integración de estas técnicas dio lugar al concepto de manufactura esbelta. La producción flexible, a diferencia de la producción en serie, tiene como objetivo aumentar los niveles de calidad y con ello tener productos más competitivos en el mercado.

#### 1.4.4 Teoría de restricciones

La teoría de restricciones es un enfoque de la gestión de producción diferente a la producción en serie y a la flexible, que se fundamenta en una buena gestión de los cuellos de botella que se pueden presentar en un proceso y en la eliminación de restricciones, con el objetivo de incrementar la utilidad. Esta teoría, propuesta por Eliyahu Goldratt en los años ochenta y publicada en el libro *La meta. Un proceso de mejora continua* [7], comparte con la producción flexible la existencia de operaciones que no generan valor y que deben eliminarse, aunque una gran diferencia con esta misma es la necesidad del inventario como medio para lograr un mayor *troughtput* (flujo de ganancia).

### 1.5 La gestión de la producción en la actualidad

En la actualidad, existe una tendencia de la producción a la personalización y la globalización, donde se implementa el comercio electrónico, una manufactura bajo pedido, cadenas de suministro global y la necesidad de ir de la mano con la logística para mejorar los procesos de la cadena de valor. En Colombia, para mejorar la productividad de las pequeñas y medianas empresas, se requiere la implementación de técnicas de gestión de la producción y la aplicación de las herramientas *lean manufacturing*, con el propósito de eliminar desperdicios y mejorar los procesos productivos. Por otra parte, las empresas manufactureras no solo compiten con aquellas que hacen parte de su entorno, sino con otras ubicadas a miles de kilómetros, que pueden ofrecer costos más bajos y mejor calidad. Cabe resaltar que las técnicas de gestión de producción que se plantean en este libro no solo sirven para el ámbito de la manufactura, sino que también es válida su aplicación en servicios como hospitales y restaurantes.



# Capítulo 2.

## Pronósticos: herramienta para la administración de la demanda

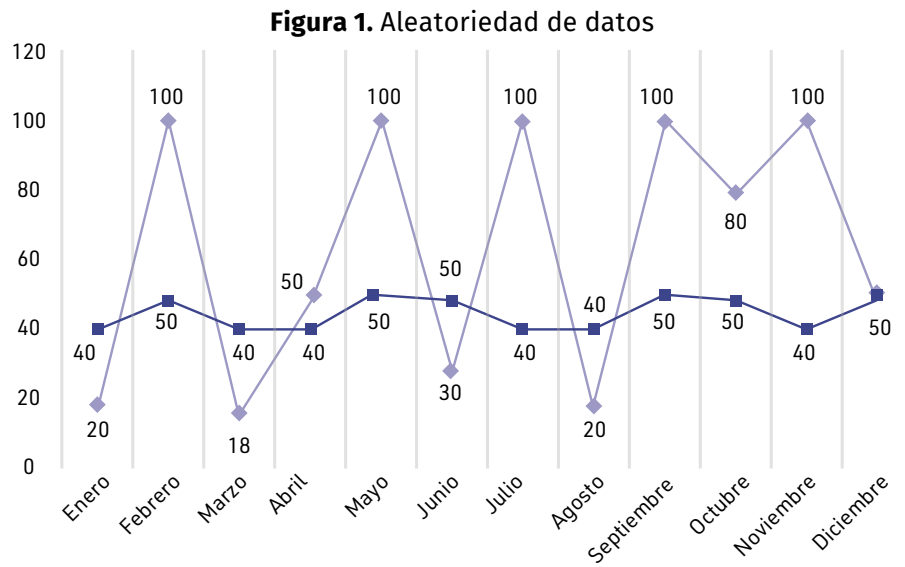
Una de las grandes diferencias que existe entre la ciencia y las pseudociencias es que la primera es capaz de predecir acontecimientos futuros por medio de bases científicas o matemáticas. Asimismo, en la gestión de la producción se utilizan los pronósticos para predecir acontecimientos futuros y gestionar las variables más representativas de los sistemas de producción, como los niveles de ventas, producción e inventarios, los costos de fabricación, etc. Además, los pronósticos tienen como función coordinar las necesidades de los clientes y las solicitudes que se deben realizar a los proveedores; estos se pueden definir como las técnicas matemáticas e intuitivas para establecer a futuro las demandas de los productos que requerirán los clientes. Los pronósticos se clasifican en series de tiempo, correlacionales y cualitativos.

23

- ▶ Series de tiempo: se refieren a métodos estadísticos que, por medio de datos históricos, tienen la capacidad de predecir el comportamiento de demandas en un futuro cercano. Entre las técnicas de pronósticos más representativas se encuentran el promedio móvil simple, el promedio móvil ponderado, la suavización exponencial y la suavización exponencial con tendencia e índices de estacionalidad.
- ▶ Pronósticos correlacionales: son métodos estadísticos que tienden a establecer la relación entre dos o más variables, se utilizan en otros aspectos de la ingeniería industrial como la analítica de datos o la econometría; dentro de las técnicas más comunes se encuentran la regresión lineal, la regresión múltiple y los mínimos cuadrados.
- ▶ Pronósticos cualitativos: son técnicas de pronóstico que se utilizan ante la falta de datos históricos, por lo general, se basan en la intuición de personas o grupos que hayan tenido una experiencia pasada sobre el proceso. Las técnicas más reconocidas son los juicios de valor, Delphi y opinión ejecutiva.

## 2.1 Parámetros de una serie de tiempo

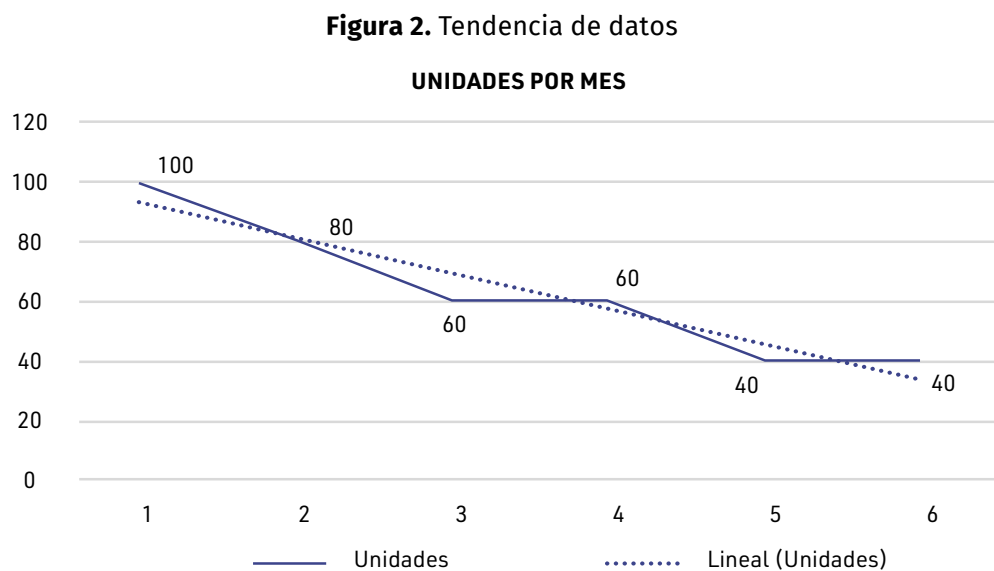
Los parámetros de series de tiempo más reconocidos son aleatoriedad, tendencia, ciclicidad y estacionalidad. La aleatoriedad es el grado de variabilidad de los datos, en todo proceso un grado alto de variabilidad puede complicar el buen cálculo de los pronósticos (figura 1).



Fuente: elaboración propia.

24

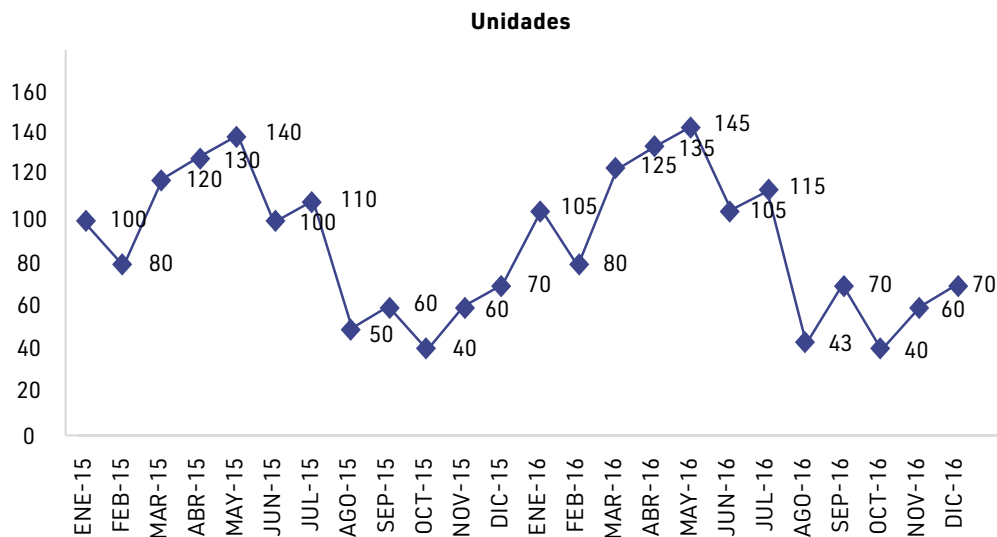
La tendencia es el incremento o disminución de una colección de datos a través del tiempo (figura 2).



Fuente: elaboración propia.

La estacionalidad se considera como la repetición del comportamiento de los datos en semanas o meses.

**Figura 3.** Estacionalidad de datos



Fuente: elaboración propia.

La ciclicidad es la repetición del comportamiento de los datos, pero, a diferencia de la estacionalidad, su horizonte de planeación se da en años o décadas.

## 2.2 Métodos de series de tiempo

Como se mencionó, las series de tiempo son uno de los métodos de pronóstico más utilizados, cuya función principal es tomar datos históricos y realizar proyecciones por medio de métodos reconocidos estadísticamente. En este libro se abordarán los siguientes métodos:

- ▶ Promedio móvil simple.
- ▶ Suavización exponencial simple.
- ▶ Suavización exponencial doble.
- ▶ Indicadores estacionales.

### 2.2.1 Método promedio móvil simple

El promedio móvil simple es un método de serie tiempo que se utiliza cuando se observa que en la colección de datos históricos no hay tendencias pronunciadas, con la siguiente fórmula:

$$F_{t+1} = \frac{\text{Suma de las últimas demandas}}{n}$$

$$F_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-n+1}}{n}$$

$D_t$  = demanda real

$n$  = número total de periodos

$F_{t+1}$  = Pronóstico para el periodo  $t + 1$

### Ejemplo 1

La pizzería Los Cocos tiene como especialidad la típica pizza hawaiana, el administrador de la pizzería debe saber cuántas pizzas se venderán para saber cuánta harina será necesaria cada semana. La demanda en las semanas anteriores se describe en la tabla 2, asuma un  $n = 3$ :

**Tabla 2.** Demanda semanal de pizzas ejemplo 1

Semana	Pizzas
Primera semana de abril	50
Segunda semana de abril	65
Tercera semana de abril	52
Cuarta semana de abril	56
Primera semana de mayo	55
Segunda semana de mayo	60
Tercera semana de mayo	++++

Fuente: elaboración propia.

$$3 \text{ semana de abril} = \frac{52 + 65 + 50}{3} = 56 - 4 \text{ semana de abril}$$

$$4 \text{ semana de abril} = \frac{56 + 52 + 65}{3} = 58 - 1 \text{ semana de mayo}$$

$$1 \text{ semana de mayo} = \frac{55 + 56 + 52}{3} = 54 - 2 \text{ semana de mayo}$$

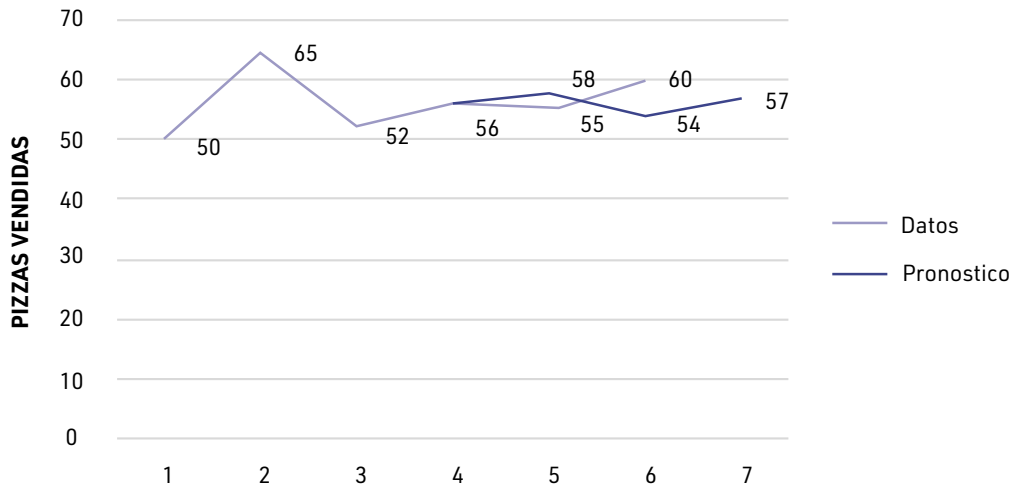
$$2 \text{ semana de mayo} = \frac{60 + 55 + 56}{3} = 57 - 3 \text{ semana de mayo}$$

**Tabla 3.** Pronóstico de pizzas con promedio móvil simple

Semana	Pizzas	Ft-Pronóstico
Primera semana de abril	50	
Segunda semana de abril	65	
Tercera semana de abril	52	
Cuarta semana de abril	56	56
Primera semana de mayo	55	58
Segunda semana de mayo	60	54
Tercera semana de mayo		57

Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.** Pronóstico realizado con promedio móvil simple



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.2 Suavizamiento exponencial

El suavizamiento exponencial es uno de los métodos más sencillos y ampliamente utilizados, se considera un promedio móvil ponderado más especializado, que requiere un parámetro de suavización que se determina con la letra (*alpha*,  $\alpha$ ). Este parámetro  $\alpha$  se encuentra entre cero y uno, si los datos se presentan de manera uniforme es aconsejable utilizar valores cercanos a cero, si se observa una colección de datos más aleatorios es mejor utilizar valores más cercanos a uno. A continuación, se presentan las fórmulas para calcular el pronóstico por medio de suavización exponencial.

$$F_{t+1} = \alpha(\text{demanda para este periodo})$$

$$+ (1 - \alpha)(\text{pronóstico para el último periodo})$$

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

## Ejemplo 2

En una fábrica de juguetes se ha realizado la agregación de sus productos y se requiere realizar un pronóstico para el mes de enero 2020. En la tabla 4 se presenta la colección de datos de los últimos meses.

**Tabla 4.** Demanda de unidades en fábrica de juguetes ejemplo 2

Mes	Unidades
Mayo	130
Junio	80
Julio	110
Agosto	130
Septiembre	150
Octubre	120
Noviembre	115
Diciembre	150

Fuente: elaboración propia.

28

- Aplique el suavizamiento exponencial para determinar el número de unidades de junio a enero, asuma un  $F_1 = 120$  unidades con un  $\alpha = 0.4$ .
- Realice el gráfico de las demandas y pronósticos calculados:

$$F_{\text{junio}} = (0.4 * 130) + (0.6 * 120) = 124$$

$$F_{\text{julio}} = (0.4 * 80) + (0.6 * 124) = 106$$

$$F_{\text{agosto}} = (0.4 * 110) + (0.6 * 106) = 107$$

$$F_{\text{septiembre}} = (0.4 * 130) + (0.6 * 107) = 116$$

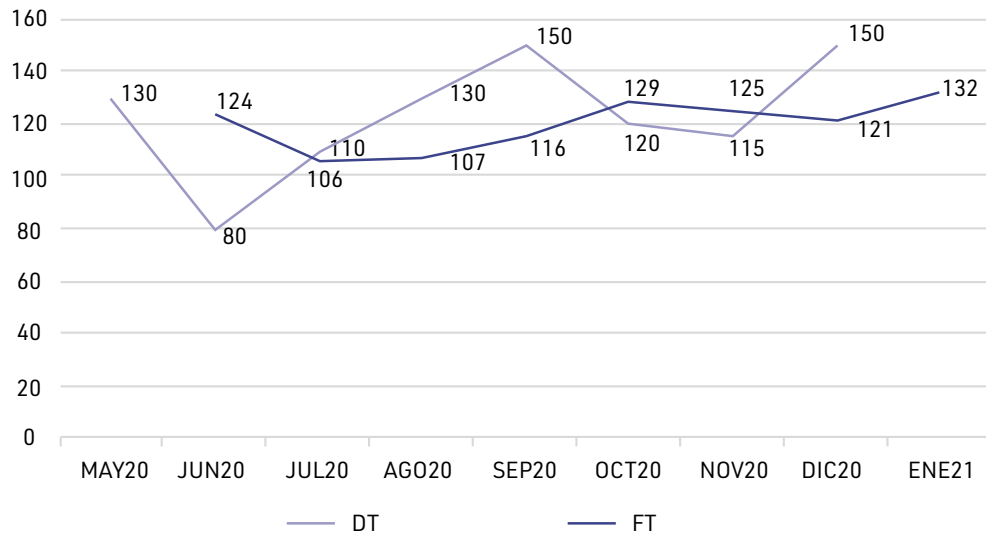
$$F_{\text{octubre}} = (0.4 * 150) + (0.6 * 116) = 129$$

$$F_{\text{noviembre}} = (0.4 * 120) + (0.6 * 129) = 125$$

$$F_{\text{diciembre}} = (0.4 * 115) + (0.6 * 125) = 121$$

$$F_{\text{enero}} = (0.4 * 150) + (0.6 * 121) = 132$$

**Figura 5.** Pronóstico realizado con suavizamiento exponencial



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3 Suavizamiento exponencial con tendencia

El suavizamiento exponencial con tendencia es un método más avanzado que el suavizamiento exponencial simple ya que tiene en cuenta el factor de tendencia, es decir, el aumento o disminución en el promedio en las series de tiempos, utilizando los siguientes parámetros:

$A_t$  = Promedio suavizado exponencialmente en la serie del periodo  $t$

$T_t$  = Promedio suavizado exponencialmente de la tendencia en el periodo  $t$

$\alpha$  = Parámetro de suavizamiento para el promedio entre el intervalo cero y uno

$\beta$  = Parámetro de la tendencia entre el intervalo cero a uno

$F_{t+1}$  = Pronóstico para el periodo  $t+1$

$A_t = \alpha(\text{Demanda en este periodo}) + (1 - \alpha)(\text{promedio} + \text{Estimación de la tendencia en el último periodo})$

$T_t = \beta(\text{Promedio de este periodo} - \text{Promedio del último periodo}) + (1 - \beta)(\text{Estimación de la tendencia en el último periodo})$

$A_t = \alpha(D_t) + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$

$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$

$F_{t+1} = A_t + T_t$

#### Ejemplo 3

Los siguientes datos corresponden a las unidades producidas en una tienda de arepas en las últimas semanas. Genere un pronóstico para las semanas 3 a 6 con el método de suavizamiento exponencial de tendencia. Suponga que el promedio es de 45 arepas y la tendencia positiva es de 2 arepas/semana antes de la semana 1.

**Tabla 5.** Pronóstico con set del ejemplo 3

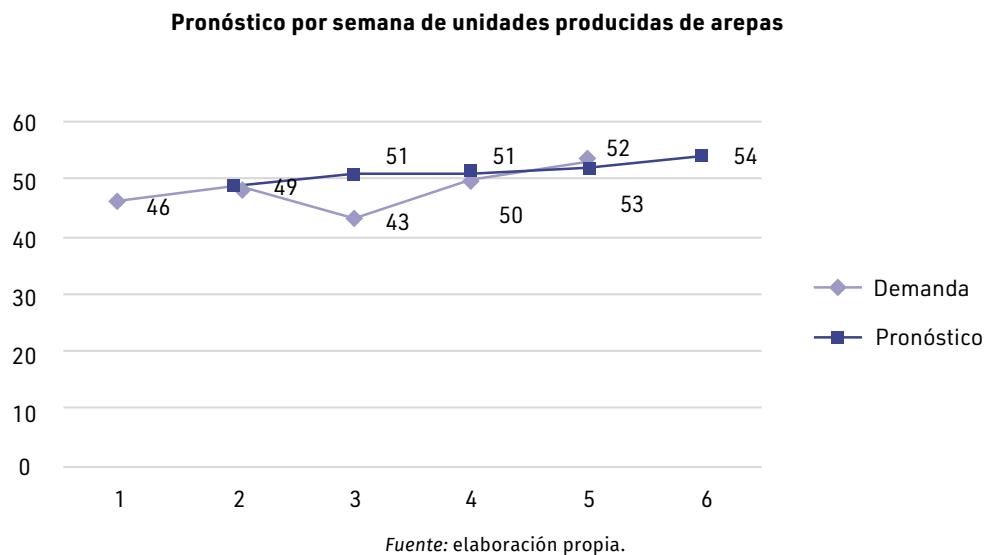
Semana	Unidades producidas	Ft
1	46	
2	49	49
3	43	51
4	50	51
5	53	52
6		54

Fuente: elaboración propia.

$$\begin{aligned}
 A1 &= (0.2 \cdot 46) + (0.8) \cdot (45 + 2) = 46.8 \\
 T1 &= (0.2 \cdot (46.8 - 45)) + (0.8 \cdot 2) = 1.96 \\
 F2 &= 46.8 + 1.96 = 49 \text{ arepas} \\
 A2 &= (0.2 \cdot 49) + (0.8) \cdot (46.8 + 1.96) = 48.8 \\
 T2 &= (0.2 \cdot (48.8 - 46.8)) + (0.8 \cdot 1.96) = 1.968 \\
 F3 &= 51 \text{ arepas} \\
 A3 &= (0.2 \cdot 43) + (0.8 \cdot (48.8 + 1.968)) = 49.21 \\
 T3 &= (0.2 \cdot (49.21 - 48.8)) + (0.8 \cdot 1.968) = 1.65 \\
 F4 &= 49.21 + 1.65 = 51 \text{ arepas} \\
 A4 &= (0.2 \cdot 50) + (0.8 \cdot (49.21 + 1.65)) = 50.688 \\
 T4 &= (0.2 \cdot (50.688 - 49.21)) + (0.8 \cdot 1.65) = 1.6156 \\
 F5 &= 50.688 + 1.6156 = 52 \text{ arepas} \\
 A5 &= (0.2 \cdot 53) + (0.8 \cdot (50.688 + 1.6156)) = 52.44 \\
 T5 &= (0.2 \cdot (52.44 - 50.688)) + (0.8 \cdot 1.61) = 1.6384 \\
 F6 &= 52.44 + 1.6384 = 54 \text{ arepas}
 \end{aligned}$$

30

**Figura 6.** Pronóstico realizado con suavizamiento exponencial con tendencia



## 2.2.4 Métodos de patrones estacionales

El método de patrones estacionales se utiliza cuando se observa estacionalidad de los datos o repetición del comportamiento de los datos teóricos en determinados periodos de tiempo, a continuación, se indican los pasos para realizar este pronóstico:

1. Estime la demanda promedio por estaciones entre el número de periodos del año.
2. Divida la demanda real sobre la demanda promedio de cada estación, el resultado será el patrón estacional.
3. Calcule el patrón estacional promedio de acuerdo con los resultados del segundo paso.
4. Determine el pronóstico de cada estación para el siguiente año o periodo.

### Ejemplo 4

En una tienda de ropa de verano se necesita hacer un pronóstico trimestral del número esperado de trajes de baño para el año siguiente. Según el equipo de demanda, esta es estacional, con un punto máximo en verano y uno mínimo en invierno. En la tabla 6 se presentan los datos de la demanda registrada en los últimos cuatros años. El equipo de planeación de demanda quiere pronosticar la demanda de clientes en cada estación del año 2016. Utilice el método de patrones estacionales para encontrar los pronósticos del año 2016. Asuma un pronóstico del 2016 de 2600 trajes de baño proyectados para la venta.

31

**Tabla 6.** Desarrollo de pronóstico con indicadores estacionales

Estación	2012	2013	2014	2015
Invierno	45	70	100	100
Primavera	335	370	585	725
Verano	520	590	830	1160
Otoño	100	170	285	215
<b>Total</b>	<b>1000</b>	<b>1200</b>	<b>1800</b>	<b>2200</b>

Estación	2012	IE	2013	IE	2014	IE	2015	IE	IET
Invierno	45	0.18	70	0.23	100	0.32	100	0.18	0.2025
Primavera	335	1.34	370	1.23	585	1.33	725	1.31	1.2950
Verano	520	2.08	590	1.96	830	1.84	1160	2.10	1.9950
Otoño	100	0.4	170	0.56	285	0.63	215	0.39	0.4950
Total	1000		1200		1700		2200		

Fuente: elaboración propia.

$$\frac{2600}{4} = 650$$

**Tabla 7.** Resultado del pronóstico con indicadores estacionales

2016	Pronóstico	Total
Invierno	650*0.2025	132
Primavera	650*1.295	842
Verano	650*1.995	1300
Otoño	650*0.495	322

Fuente: elaboración propia.

## 2.3 Métodos correlacionales

Por lo general, los métodos correccionales buscan, por medio de la relación entre dos o más variables, obtener un pronóstico, para el cual requieren datos históricos, como en el caso de las series de tiempo. Entre los métodos de correlación más importantes están la regresión lineal, la regresión múltiple y los mínimos cuadrados. En esta publicación se abordará específicamente la regresión lineal.

32

### 2.3.1 Regresión lineal

La regresión lineal consiste en la correlación de dos variables, una de tipo independiente y otra dependiente, esta relación puede ser de forma directa, indirecta o nula. A continuación, se presentan las fórmulas de la regresión lineal:

$$Y = a + bX$$

a = intersección de la recta con respecto al eje Y.

b = pendiente de la recta.

r = coeficiente de correlación, si es cercano a 1 se determina que la relación de las variables es directa y fuerte, si es más cercano a 0 es débil y si es más cercano a -1 es fuerte inversa.

Y = variable dependiente.

X = variable independiente.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n X}{n}$$

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n XiYi) - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{n(\sum_{i=1}^n Xi^2) - (\sum_{i=1}^n Xi)^2}$$

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

$$\sigma_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n XiYi}{n} - \bar{X}\bar{Y}$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Xi^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Yi^2}{n} - (\bar{Y})^2}$$

### Ejemplo 5

El Palacio del Pollo ofrece periódicamente comidas como la Cajita Alegre; determine esta oferta como variable dependiente y el precio como variable independiente. ¿Cuántas Cajitas Alegres logrará vender el Palacio del Pollo si el precio propuesto es \$3?

**Tabla 8.** Datos de precios y ventas del ejemplo 5

Años	Precio	Comidas vendidas
2015	\$2.7	760
2016	\$3.5	510
2017	\$2	980
2018	\$4.2	250
2019	\$3.1	320
2020	\$4.05	480

Fuente: elaboración propia.

### Resolución

$$a = 1454$$

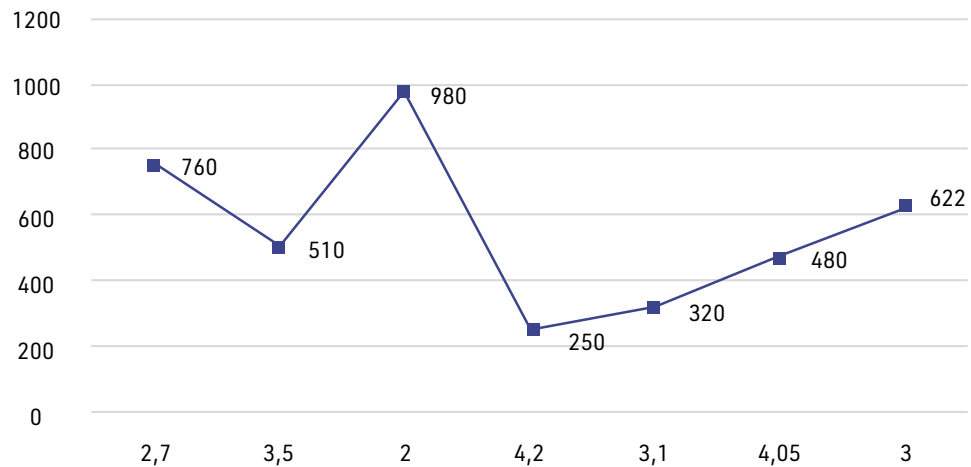
$$b = -277.63$$

$$r = -0.84$$

$$Y = 1454.60 - 277.63(3)$$

$$Y = 622 \text{ Cajitas Alegres.}$$

**Figura 7.** Pronóstico realizado con regresión lineal



Fuente: elaboración propia.

El  $R = -0.84$  quiere decir que la relación es fuerte e indirecta.

## 2.4 Errores de pronóstico

34

Para conocer qué tipo de pronóstico se debe utilizar es necesario calcular varios indicadores de error y comparar los pronósticos entre ellos; estos indicadores miden los patrones de tendencia y aleatoriedad, si sobreestimamos o subestimamos la demanda. A continuación, se muestran las definiciones de los indicadores de errores de pronóstico.

$$Et = Dt - Ft$$

$$CFE = \sum_{i=1}^n Et$$

El valor del CFE (suma acumulada de errores de pronóstico) será mayor si existe un error sistemático, eso quiere decir que se omitió o eliminó un elemento de tendencia o de tipo cíclico. A partir del CFE es posible calcular el error promedio de la siguiente manera:

$$\text{Error promedio} = \frac{CFE}{n}$$

Dentro de las mediciones de dispersión se encuentra el error cuadrático medio (MSE), la desviación estándar y la desviación media absoluta (DAM). A continuación, se muestran las fórmulas requeridas para calcular este tipo de indicadores.

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

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |Et|}{n}$$

Uno de los indicadores de error más importantes es el error porcentual medio absoluto (PEMA), que mide la relación que existe entre la demanda y el pronóstico con un porcentaje, de manera tal que un resultado menor al 10 % se puede considerar aceptable.

$$PEMA = \frac{|Et|}{Dt} * 100\%$$

Una medida necesaria es si el pronóstico prevé con precisión los cambios reales de la demanda, para ello se requiere calcular la señal de rastreo que está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Señal de rastreo} = \frac{CFE}{MAD}$$

El método de pronóstico es válido si el cálculo de la señal de rastreo se encuentra entre -4 MAD y 4 MAD.

35

### Ejemplo 6

Calcule los errores de pronóstico para los datos que se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados de cálculos de errores de pronósticos

Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Error absoluto	PEMA	Error acumulado	Error absoluto acumulado	MAD	Señal de rastreo
Enero	220	210	10	10	5%	10	10	10	1.00
Febrero	320	310	10	10	3%	20	20	10	2.00
Marzo	450	440	10	10	2%	30	30	10	3.00
Abril	320	330	-10	10	3%	20	40	10	2.00
Mayo	340	340	0	0	0%	20	40	8	2.50
Junio	410	450	-40	40	10%	-20	80	13.333	-1.50
Julio	320	310	10	10	3%	-10	90	12.85	-0.78
Agosto	350	340	10	10	3%	0	100	12.5	0.00
Septiembre	320	310	10	10	3%	10	110	12.2222	0.82
Octubre	320	315	5	5	2%	15	115	11.5	1.30
Noviembre	310	325	-15	15	5%	0	130	11.818	0.00
Diciembre	370	365	5	5	1%	5	135	11.25	0.44
					PEMA	3%			

Fuente: elaboración propia.

PEMA = 3 %  
MAD = 11.12  
MSE = 214.2  
Señal de rastreo = -1.75 MAD a +3 MAD

Se considera un porcentaje de error adecuado ya que es menor al 10% y se puede concluir que el método de pronóstico tiene la capacidad de prever los cambios de la demanda, ya que el intervalo se encuentra entre -4 MAD y 4 MAD.

## 2.5 Pronósticos cualitativos

Los métodos cualitativos generalmente son utilizados cuando no existe una colección de datos históricos, entre los principales métodos de juicio se encuentran *Box Jenkins*, Delphi, opinión ejecutiva e investigaciones de mercado. A continuación, se definen los métodos Delphi y composición de fuerzas de ventas.

- ▶ Delphi: en esta técnica se realiza un proceso grupal conformado por el personal, los entrevistados y los expertos.
- ▶ Composición de fuerzas de ventas: en esta técnica los representantes de ventas de cada una de sus regiones estiman cuáles serán sus ventas, luego se combina en un mayor nivel, por ejemplo, nacional, y se llega a un pronóstico global.

36

## Taller de ejercicios

### Ejercicio 1

Las ventas realizadas en los últimos doce meses por una empresa aparecen a continuación:

Mes	Ventas (millones de dólares)	Mes	Ventas (millones de dólares)
Enero	200	Julio	530
Febrero	240	Agosto	620
Marzo	270	Septiembre	540
Abril	310	Octubre	360
Mayo	370	Noviembre	320
Junio	470	Diciembre	290

- a. Utilice un promedio móvil de tres meses y pronostique las ventas para los meses entre abril y diciembre.
- b. ¿Cuál será el pronóstico para el mes de enero entrante (13) utilizando el promedio móvil de tres meses?
- c. Realizar gráficos.

## Ejercicio 2

El departamento de planeación de la demanda de BBC, una reconocida tienda de cervezas, quiere estimar la cantidad de cajas de una familia de cervezas en las siguientes semanas, para ello ha observado que las tendencias no son pronunciadas y ha recurrido al promedio móvil simple utilizando un  $n = 3$ . A continuación, se presentan las ventas de las últimas semanas:

Semanas	Ventas en cajas
Primera semana de junio 2016	300
Segunda semana de junio 2016	310
Tercera semana de junio 2016	308
Cuarta semana de junio 2016	317
Primera semana de julio 2016	310
Segunda semana de julio 2016	316

- Halle el pronóstico desde la semana del 3 de junio de 2016 hasta la semana del 2 de julio de 2016.
- ¿Cuántas cajas se pronostica vender en la tercera semana de julio del 2016?
- Realice el gráfico.

## Ejercicio 3

37

Isaac Newton es el gerente de una tienda de artículos electrónicos y ha encomendado al analista de planeación realizar un pronóstico de ventas para una familia de videojuegos, conformada por tres video juegos: FIFA 2016, Age of Empires y Pro Evo. A continuación, se presentan los datos relacionados con las ventas por productos de semanas anteriores.

Semana	Venta FIFA 2016	Ventas Age of Empires	Ventas Pro Evo
1	460	280	310
2	490	290	340
3	430	310	380
4	500	350	390
5	530	360	420

- Use el suavizamiento exponencial con tendencia con  $\alpha = 0.4$  y  $\beta = 0.6$  para determinar las ventas correspondientes a las semanas 2 a 6. Suponga que el promedio de serie de tiempo fue de 1170 unidades y que la tendencia promedio fue de +60 unidades por semana, inmediatamente antes de la primera semana. Recuerde la agregación de productos.
- Utilice el pronóstico de suavizamiento exponencial con  $\alpha = 0.8$  y un promedio de serie de tiempo de 1200 unidades.
- Establezca el mejor pronóstico.

## Ejercicio 4

La gerente de una tienda de ropa deportiva tiene una familia de productos de vestidos de baño. A continuación, se presentan las ventas trimestrales en unidades registradas en los últimos periodos.

Trimestre	Año 1	Año 2
Invierno	120	160
Primavera	350	440
Verano	650	790
Otoño	30	80
Total	1150	1470

Si la venta esperada del vestido de baño es de 1800 unidades para el año 3, use el método estacional y prepare un pronóstico para cada trimestre del año.

## Ejercicio 5

Una fábrica de chocolates quiere conocer las demandas bimestrales del año 2016 de su familia de productos para mejorar su cadena de abastecimiento, a continuación, se presentan las demandas bimestrales registradas durante los años 2013, 2014 y 2015.

38

Bimestres	2013	2014	2015
1	4000	4500	4200
2	2000	2200	2100
3	1000	1200	1100
4	500	600	700
5	4400	5000	5200
6	5300	6000	6100

- Utilice el método de suavizamiento exponencial con tendencia para hallar las ventas esperadas del año 2016, utilizando un  $A_0 = 19000$  y  $T_0 = +1500$   $\alpha = 0.8$  y  $\beta = 0.2$ .
- Con el resultado de las ventas esperadas para el año 2016, por medio de indicadores estacionales, encuentre los pronósticos de las demandas bimestrales para el año 2016.

# Capítulo 3.

## Capacidad de producción

La gestión de la producción se puede definir como el nivel de producción que puede producir una fábrica teniendo en cuenta un periodo específico; la planeación de la capacidad [2] se puede determinar en tres formas: 1) a largo plazo (mayor a un año), en esta se pueden colocar instalaciones; 2) a mediano plazo (de tres a doce meses), en la que se puede subcontratar, almacenar unidades, contratar operarios o aumentar o disminuir los turnos, por lo general, estas son las funciones de la planeación agregada que se verán más adelante; y 3) a corto plazo (máximo de tres meses), que consiste en la programación de órdenes de trabajo. En este libro se determinan varios tipos de capacidad que se nombran a continuación.

### 3.1 Capacidad teórica

La capacidad teórica se define como el máximo nivel de actividad que puede tener una fábrica sin presentar tiempos ociosos, utilizando el total de sus recursos físicos. No obstante, en la práctica es imposible, dado que en las fábricas y en la producción siempre existen problemas.

### 3.2 Capacidad instalada

La capacidad instalada es aquella que está totalmente disponible, pero que se ve disminuida por las horas que se dedican a los mantenimientos preventivos de las estaciones de trabajo y las máquinas que intervienen en el proceso productivo que se deben tener en cuenta para el buen desarrollo de estas. La capacidad instalada [8] se calcula por horas/año, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad instalada} = (365 \text{ días} * 24 \text{ horas} * \text{Número de máquinas}) - G_1$$

$G_1$  = este factor se define como las pérdidas planeadas en horas por los mantenimientos preventivos que tendrán las máquinas o estaciones de trabajo.

### 3.3 Capacidad disponible

Es una medición de capacidad menor a la instalada y que se afecta debido a las condiciones de la organización, la capacidad disponible tiene en cuenta los días hábiles, el número de turnos, su duración y las horas calculadas por pérdidas de ausentismo. La fórmula de la capacidad disponible se determina de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad disponible} = (Nm * Dh * Nt * Dt) - (G1 + G2 + G3 + G4)$$

Nm = número de máquinas. Es importante tener en cuenta si estamos con máquinas en paralelo o si se trata de un sistema de producción en serie.

Dh = días hábiles que se trabajan en el periodo.

Nt = número de turnos en el día.

Dt = duración en horas del turno.

G1 = horas de mantenimientos preventivos.

G2 = ausentismos en horas por periodo.

G3 = factores externos a la producción, como reuniones o capacitaciones a operarios.

G4 = factores de fuerza mayor, como posibles paros, inundaciones, etc.

40

#### Ejemplo 7

Una fábrica tiene varios centros de trabajo, cada uno de los cuales desarrolla una familia de productos, como se muestra en la tabla 10. A partir de esta información, se deben hallar la capacidad instalada, la capacidad disponible y el porcentaje de utilización con respecto a las unidades anuales pronosticadas.

**Tabla 10.** Datos de cada centro de trabajo ejemplo 7

CW	Maq	Tasa de producción	Turnos	Días hábiles	G1 (horas/año)	G2 (horas/año)	G3 (horas/año)	G4 (horas/año)	Unidades pronosticadas	Duración turno
A	3	2 un/min	2	300	100	80	30	25	1100000	8 horas
B	3	3 un/min	1	300	110	75	25	30	1100000	10 horas

Fuente: elaboración propia.

$$C_{\text{Instalada CW 1}} = (3 \text{ máquinas} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 24 \frac{\text{días}}{\text{día}}) - (100 \frac{\text{horas}}{\text{año}}) = 26180 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$C_{\text{Instalada CW 2}} = (3 \text{ máquinas} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 24 \frac{\text{días}}{\text{día}}) - (110 \frac{\text{horas}}{\text{año}}) = 26170 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

C Disponible CW 1

$$= (3 \text{ máquinas} * 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 2 \text{ turnos} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}}) - (110 \frac{\text{horas}}{\text{año}} + 80 \frac{\text{horas}}{\text{año}} + 30 \frac{\text{horas}}{\text{año}} + 25 \frac{\text{horas}}{\text{año}}) = 14\,165 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

C Disponible CW 2

$$= (3 \text{ máquinas} * 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 1 \text{ turnos} * 10 \frac{\text{horas}}{\text{turno}}) - (110 \frac{\text{horas}}{\text{año}} + 75 \frac{\text{horas}}{\text{año}} + 25 \frac{\text{horas}}{\text{año}} + 30 \frac{\text{horas}}{\text{año}}) = 8760 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$F_{\text{Utilización CW1}} = \frac{1\,100\,000 \text{ unidades}}{1\,699\,800 \text{ unidades}} * 100\%$$

$$F_{\text{Utilización CW1}} = 64\%$$

$$F_{\text{Utilización CW2}} = \frac{1\,100\,000 \text{ unidades}}{1\,576\,800 \text{ unidades}} * 100\%$$

$$F_{\text{Utilización CW2}} = 69\%$$

41

## Ejemplo 8

Una fábrica de gaseosas contiene tres líneas de producción donde se envasan tres tipos de familias de producto diferentes por cada línea. En la tabla 11 se muestran los datos de los pronósticos de pérdidas por mantenimiento preventivo, pérdidas por factores organizacionales y externos, número de turnos y días hábiles trabajados. A partir de esta información se determinará la capacidad instalada, la capacidad disponible y el posible factor de utilización de cada una de líneas de producción.

**Tabla 11.** Información base para formulación de pronósticos de capacidades ejemplo 8

Línea	1	2	3
Tasa de producción (packs/hora)	1550	650	1800
Turnos	3	2	3
Días hábiles	320	200	330
G1 (horas/año)	300	100	150
G2 (horas/año)	50	60	60
G3 (horas/año)	40	30	30
G4 (horas/año)	50	10	20
Duración turno	8 horas	12 horas	8 horas
Unidades pronosticadas anualmente (packs)	11222000	4862000	13356000

Fuente: elaboración propia.

$$C \text{ instalada L1} = (365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}}) - (320 \frac{\text{horas}}{\text{año}}) = 8440 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$C \text{ instalada L2} = (365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}}) - (200 \frac{\text{horas}}{\text{año}}) = 8560 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$C \text{ instalada L3} = (365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}}) - (330 \frac{\text{horas}}{\text{año}}) = 8430 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

*C disponible L1*

$$= (320 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} * 3 \frac{\text{turno}}{\text{día}}) - (300 + 50 + 40 + 50) \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 7240 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

*C disponible L2*

$$= (320 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 2 \frac{\text{turnos}}{\text{día}} * 12 \frac{\text{horas}}{\text{turno}}) - (100 + 60 + 30 + 10) \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 7485 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

*C disponible L3*

$$= (320 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 3 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} * 8 \frac{\text{turno}}{\text{día}}) - (150 + 60 + 30 + 20) \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 7420 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

42

Capacidad disponible dada en packs por año:

$$C \text{ disponible L1} = 7240 \frac{\text{horas}}{\text{año}} * 1550 \frac{\text{packs}}{\text{hora}} = 11\,222\,000 \frac{\text{packs}}{\text{año}}$$

$$C \text{ disponible L2} = (7485 \frac{\text{horas}}{\text{año}} * 650 \frac{\text{packs}}{\text{horas}}) = 4\,862\,000 \frac{\text{packs}}{\text{año}}$$

$$C \text{ disponible L3} = (7420 \frac{\text{horas}}{\text{año}} * 1800 \frac{\text{packs}}{\text{horas}}) = 13\,356\,000 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$F \text{ utilización L1} = \frac{13\,992\,000 \frac{\text{packs}}{\text{año}}}{11\,222\,000 \frac{\text{packs}}{\text{año}}} = 124\%$$

$$F \text{ utilización L2} = \frac{3\,140\,243 \frac{\text{packs}}{\text{año}}}{4\,862\,000 \frac{\text{packs}}{\text{año}}} = 64\%$$

$$F \text{ utilización L3} = \frac{10\,855\,585 \frac{\text{packs}}{\text{año}}}{13\,356\,000 \frac{\text{packs}}{\text{año}}} = 81\%$$

### 3.4 Consideraciones de la capacidad

Para los cálculos de la capacidad es importante entender cómo la tecnología hace que existan incrementos en la capacidad y cómo puede esta afectar la viabilidad financiera y económica, así como la competitividad, con respecto a otras empresas y plantas de producción. Los gerentes de producción y planeadores deben complementar el entendimiento y el cálculo de la capacidad con la demanda y analizar si esta excede o existe un faltante. Cuando la demanda excede la capacidad se puede reprimir con el aumento de los precios, una solución a largo plazo es incrementar la capacidad por medio de compra de máquinas actualizadas o la adquisición de nuevas tecnologías; por el contrario, cuando la capacidad excede a la demanda, para equilibrarlas es preciso estimular la demanda mediante reducciones de precios o utilizando una mercadotecnia agresiva que logre impulsar un aumento de las ventas.

Entre las tácticas para ajustar la capacidad a la demanda se pueden utilizar cambios en el personal, como contrataciones o despidos, mejoras en los procesos para incrementar los niveles de producción o algunos sistemas de producción como el *Just in Time*, que ajustan su capacidad por medio de la flexibilidad del proceso, con el propósito de cumplir con las necesidades cambiantes de los clientes.

### 3.5 Suplemento OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

Dentro de los indicadores de gestión de la eficiencia de la línea de producción se encuentra el Overall Equipment Effectiveness (OEE), que se refiere a la razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de una línea de producción [9]. Para el cálculo del OEE es necesario tener en cuenta seis tipos de pérdidas que se mencionan a continuación:

- ▶ Paradas por descansos.
- ▶ Configuración y ajustes de la línea.
- ▶ Averías.
- ▶ Reducción de la velocidad de la línea.
- ▶ Rechazos de producción en marcha.
- ▶ Rechazos al finalizar la producción.

El primer y segundo ítem se refieren a los criterios de disponibilidad de la línea, el tercero y el cuarto aluden al rendimiento, por último, el quinto y el sexto se relacionan con la calidad.

A continuación, se muestran las fórmulas para el cálculo correspondiente del indicador OEE.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo planificado de producción}} * 100\%$$

$$\text{Tiempo planificado} = \text{Duración del turno} - \text{descansos}$$

$$\text{Tiempo de operación} = \text{Tiempo planificado} - \text{Tiempo de preparaciones}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Número total de unidades fabricadas}}{\text{Tiempo de operación} * \text{velocidad máxima}} * 100\%$$

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas fabricadas buenas}}{\text{Total de piezas fabricadas}} * 100\%$$

$$\text{OEE} = \% \text{ Disponibilidad} * \% \text{ Rendimiento} * \% \text{ Calidad}$$

En la tabla 12 se muestran los niveles de categorización del OEE para una línea de producción.

**Tabla 12.** Niveles de categorización del OEE

Intervalos	Valores
OEE < 65 %	No aceptable
65 % < OEE < 75 %	Bajo
75 % < OEE < 85 %	Normal
85 % < OEE < 95 %	Bueno
OEE > 95 %	Manufactura de clase mundial

Fuente: elaboración propia.

44

### Ejemplo 9

Una línea de producción trabaja 8 horas, entre las que se destinan 15 minutos para el almuerzo y 20 minutos para configuraciones y preparaciones; la velocidad ideal de la línea es de 40 unidades/minuto. Se encontraron 32 unidades de *scrap* de un total fabricado de 13200 unidades durante el turno. A partir de esta información, se determinará el grado del indicador OEE del turno para esta línea de producción.

$$\text{Tiempo planificado} = 8 \text{ horas} - 0.25 \text{ horas} = 7.75 \text{ horas}$$

$$\text{Tiempo de operación} = 7.75 \text{ horas} - 0.33 \text{ horas} = 7.42 \text{ horas}$$

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{7.42 \text{ horas}}{7.75 \text{ horas}} * 100 \% = 95 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{13\,200 \text{ unidades}}{7.42 \text{ horas} * 40 \frac{\text{unidades}}{\text{minuto}} * 40 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}}} * 100 \% = 74 \%$$

$$\% \text{ Calidad} = \frac{13\,200 \text{ unidades} - 32 \text{ unidades}}{13\,200 \text{ unidades}} * 100 \% = 99 \%$$

$$\text{OEE} = 95 \% * 74 \% * 99 \% = 70 \%$$

## Taller de ejercicios

### Ejercicio 1

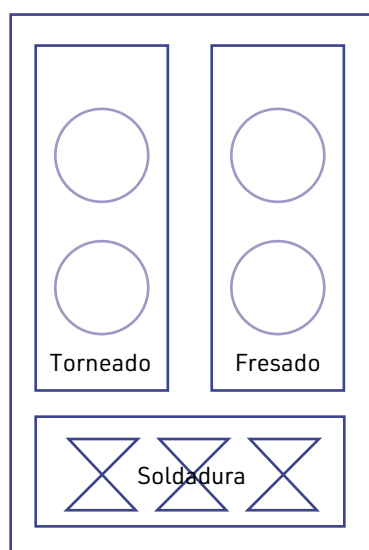
Una fábrica de metalmecánica produce una familia de tornillos, otra de piñones y otra de rejas. Las áreas están divididas por área de torneado (se fabrican los tornillos), fresado (se fabrican los piñones) y las rejas (en soldadura). Para el año 2016, se tiene previsto trabajar de lunes a viernes, 2 turnos diarios de 8 horas y 50 semanas en todas las áreas. A continuación, se presentan los datos necesarios para calcular la capacidad disponible e instalada.

Área	Máquinas	Tiempo de producción	G1 (horas/mes)	G2 (horas/mes)	G3 (horas/mes)	G4 (horas/mes)	Unidades pronosticadas
Torneado	2	3 u/h	10	1	4	0.5	25340 tornillos/año
Fresado	2	2 u/h	8	1	1	1	10470 piñones/año
Soldadura	3	6 u/h	0.5	2	2	1	90000 rejas/año

- Halle la capacidad disponible e instalada en unidades de cada área.
- Calcule el factor de utilización con respecto a la demanda y determine según el resultado qué medidas tomaría para equilibrar la demanda con la capacidad.

45

**Figura 8.** Diagrama taller de maquinado



Fuente: elaboración propia.

## Ejercicio 2

Una embotelladora de gaseosas ha clasificado su familia de productos por calibres y tiene cuatro líneas de producción, la línea 1 trabaja el calibre de 350 cc, la línea 2 maneja 1.5 litros, la línea 3 tiene asignados 2 litros y la línea 4 trabaja 3 litros, cada línea de producción posee la misma configuración, aunque con diferentes velocidades, como se detalla en la siguiente tabla.

Línea	Tasa de producción (packs/hora)				
	Despaletizadora	Inspector	Llenadora	Empacadora	Paletizadora
1	150	180	90	75	60
2	130	200	120	130	150
3	120	180	120	130	150
4	170	150	120	130	150

**Figura 9.** Diagrama de bloques de línea de producción



Fuente: elaboración propia.

Para calcular la capacidad disponible e instalada en packs/año de cada una de las líneas de producción, el jefe de producción elaboró la siguiente tabla:

Línea	Días hábiles	Duración turno	Número de turnos	G1 (horas/año)	G2 (horas/año)	G3 (horas/año)	G4 (horas/año)	Packs proyectados (año)
1	330	8 horas	3	45	20	10	15	450 000
2	332	8 horas	2	50	20	10	15	464 800
3	340	12 horas	1	120	20	10	15	200 000
4	300	8 horas	2	100	35	20	15	420 000

- Halle la capacidad disponible e instalada en packs por cada línea de embotellado.
- Calcule el factor de utilización con respecto a la demanda y determine según el resultado qué medidas tomaría para equilibrar la demanda con la capacidad.

### Ejercicio 3

El supervisor de producción debe calcular el indicador OEE y la velocidad real para la línea de producción durante el turno anterior, para esto toma en cuenta los datos registrados por el *software* ERP.

<b>Concepto</b>	<b>Datos</b>
Duración del turno	480 minutos
Almuerzo	45 minutos
Paradas (preparación línea)	100 minutos
Velocidad ideal	80 unidades/minuto
Total de unidades	25900 unidades
Unidades defectuosas ( <i>scrap</i> )	550 unidades



# Capítulo 4.

## Plan agregado de producción

Un plan agregado es un proceso de la gestión de la producción que busca determinar una estrategia anticipada que permita cumplir con los requerimientos de producción; se le denomina agregado ya que este plan no detalla los SKU (*Stock Keeping Unit*), sino que se hace con respecto a las familias de producto. En el desarrollo de un plan agregado se deben tener en cuenta la determinación de la fuerza laboral, los niveles de producción, la cantidad de inventario a mano y la capacidad que tiene la fábrica. El horizonte de planeación para elaborar un plan agregado es de seis a dieciocho meses.

Para el desarrollo de un plan agregado se deben considerar factores de tipo económico y comercial. Dentro del área económica es importante tener en cuenta objetivos como la minimización de los costos, la mano de obra en tiempo normal, los costos de horas extras, contratación, despidos, subcontratación de unidades y mantenimiento de unidades de inventario. Dentro del área comercial es preciso considerar variables como tiempo de entrega, nivel de servicio y tasas de producción.

Según varios autores como Narasimhan [10], Heizer [2] y Jacobs [1], los planes agregados se pueden clasificar de dos formas: 1) estrategia de persecución y 2) estrategia de nivelación. En la estrategia de persecución se intenta alcanzar tasas de producción para cada periodo que correspondan al pronóstico de demanda para este, es decir, aumentar o disminuir la capacidad de la fuerza de trabajo para cumplir con la demanda, el inventario no es una variable importante dentro del desarrollo de este tipo de estrategias. Por su parte, en las estrategias de nivelación, la producción diaria es uniforme, lo que implica que las tasas de producción sean iguales y sea posible que el inventario cambie de nivel con el propósito de amortiguar las diferencias entre las demandas y los niveles de producción.

### 4.1 Métodos de planeación agregada

Dentro de la planeación agregada, los métodos se pueden clasificar en estrategias puras y mixtas, las primeras incluyen la fuerza laboral variable, la nivelación con inventarios y faltantes, la subcontratación y las horas extras. En una estrategia pura solo se utiliza una de estas, mientras que en las estrategias mixtas se utilizan dos o más métodos a la vez.

#### 4.1.1 Método de fuerza laboral variable

Este método consiste en aumentar o disminuir la cantidad de trabajadores según los niveles de demanda de unidades de los productos terminados, es importante conocer el tiempo de fabricación de los productos para determinar la cantidad de operarios necesarios, teóricamente no se tienen en cuenta la capacidad de operarios y en algunos problemas se asumen infinito, pero en la realidad no necesariamente puede ocurrir tal situación. A continuación, se definen las fórmulas para el método:

$$\text{Número de trabajadores} = \frac{\text{Demanda} * \text{Tiempo de fabricación}}{\text{Días laborables} * \text{Horas regulares}}$$

$$\text{Tiempo disponible} = \text{Días hábiles} * \text{Números de operarios} * \text{Horas trab al día}$$

$$\text{Costo de contratar} = \text{Costo de contratar operarios} * \text{operarios contratados}$$

$$\text{Costo de despedir} = \text{Costo de despedir} * \text{operarios despedidos}$$

$$\text{Costo de tiempo normal}$$

$$= \text{Tiempo disponible} * \text{Costo de una hora en tiempo normal}$$

$$\text{Costo plan agregado}$$

$$= \text{Costo de tiempo normal} + \text{Costo de contratar} + \text{Costo de despedir}$$

#### 4.1.2 Método de inventarios y faltantes

50

En este método se busca nivelar la producción y la demanda con base en los inventarios y faltantes, se trata de una buena estrategia de plan agregado siempre y cuando los costos de mantener inventario y los de faltantes sean menores, es importante tener en cuenta que la fuerza laboral es constante para este caso. A continuación, se definen las fórmulas para el método:

$$\text{Tiempo disponible} = \text{días laborados} * \text{horas trabajadas} * \text{cantidad de operarios}$$

$$\text{Producción real} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo de fabricación}}$$

$$\text{Inventario final} = \text{Inventario inicial} + \text{Producción real} - \text{Demanda}$$

$$\text{Si el Inventario final es } < 0 \text{ es unidad faltante}$$

$$\text{Costo total de inventario}$$

$$= \text{Unidades en inventario} * \text{Costo de mantener inventario}$$

$$\text{Costo de faltantes} = \text{Unidades faltantes} * \text{Costo de faltantes}$$

$$\text{Costo de tiempo normal}$$

$$= \text{Tiempo disponible} * \text{Costo de una hora en tiempo normal}$$

$$\text{Costo de plan agregado}$$

$$= \text{Costo de tiempo normal} + \text{Costo de faltantes}$$

$$+ \text{Costo de inventario}$$

### 4.1.3 Método de subcontratación

En este método se busca un tercero o unidad de maquila para la fabricación de las unidades, esta estrategia se considera de persecución ya que busca alcanzar la demanda y, por tanto, no se generan inventarios y faltantes siempre y cuando la capacidad de la fábrica subcontratada sea suficiente. Esta estrategia puede inducir a la falta de control de calidad de las unidades, debido a la dificultad de supervisar con detalle el trabajo del tercero contratado, además, la entrega de estas unidades podría dificultar la planeación de la producción. A continuación, se nombran las fórmulas que se utilizan generalmente en este plan agregado.

$$\text{Tiempo disponible} = \text{días laborados} * \text{horas trabajadas} * \text{cantidad de operarios}$$

$$\text{Producción real} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo de fabricación}}$$

$$\text{Unidades subcontratadas} = \text{Demanda del periodo} - \text{Producción real}$$

$$\text{Costo de subcontratación}$$

$$= \text{Costo de unidad subcontratada} * \text{Unidades subcontratadas}$$

$$\text{Costo de plan agregado} = \text{Costo de tiempo normal} + \text{Costo de subcontratación}$$

### 4.1.4 Método de horas extras

En este método se busca aumentar la capacidad por medio de la utilización de horas extras, con el objetivo de cumplir la demanda, en algunos casos, puede ser una estrategia que debe tener en cuenta si hay normativas sindicales, los costos de las horas extras (que generalmente son altos) y la legislación del país. Cabe resaltar que se considera una estrategia de persecución, pero puede generar inventarios. A continuación, se mencionan las fórmulas a utilizar:

$$\text{Tiempo disponible} = \text{días laborados} * \text{horas trabajadas} * \text{cantidad de operarios}$$

$$\text{Producción real} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo de fabricación}}$$

$$\text{Unidades extras} = \text{Demanda del periodo} - \text{Producción real}$$

$$\text{Costo de tiempo normal}$$

$$= \text{Tiempo disponible} * \text{Costo de una hora en tiempo normal}$$

$$\text{Horas extras} = \text{Unidades extras} * \text{tiempo de fabricación}$$

$$\text{Costo de horas extras} = \text{Horas extras} * \text{costo de una hora extra}$$

$$\text{Inventario final}$$

$$= \text{Inventario inicial} + \text{Producción real} + \text{Unidades extras}$$

$$- \text{Demanda}$$

$$\text{Costo total de inventario}$$

$$= \text{Unidades en inventario} * \text{Costo de mantener inventario}$$

$$\text{Costo de plan agregado}$$

$$= \text{Costo de tiempo normal} + \text{Costo de horas extras}$$

$$+ \text{Costo total de inventario}$$

## Ejemplo 10

El analista de planeación de la demanda de una fábrica de tortas debe diseñar el plan de producción de los próximos seis meses. El costo de contratar un empleado es de \$3800/trabajador, el de despedir es de \$5900/trabajador, el costo en tiempo normal es de \$80/hora, el tiempo extra se estima en \$120/hora, el mantenimiento de inventario corresponde a \$20/unidades-mes, fabricar tortas a un tercero cuesta \$50/torta, el tiempo de operación se estimó en 4 minutos/unidad, el costo de unidades en inventario es de \$3/unidad y el de faltante es de \$10/unidad. A continuación, se muestran la demanda y los días laborables por mes (tabla 13), se determina un número inicial de 40 operarios. Determine el plan agregado de producción por medio de los cuatro métodos puros vistos anteriormente.

**Tabla 13.** Datos de demanda y días laborables

Mes	Demanda (unidades)	Días laborables
Enero 2016	195 000	25
Febrero 2016	130 000	24
Marzo 2016	125 000	23
Abril 2016	110 000	23
Mayo 2016	150 000	24
Junio 2016	110 000	24

Fuente: elaboración propia.

52

A continuación, se muestran los cálculos del primer periodo.

### Método de fuerza laboral variable

$$\text{Número de trabajadores} = \frac{180000 \text{ unidades} * 0.0666667 \text{ horas/unidad}}{25 \text{ días} * 8 \text{ horas/día}}$$

$$\text{Número de trabajadores} = 65 \text{ operarios}$$

$$\text{Operarios a contratar} = 65 \text{ operarios} - 40 \text{ operarios} = 25 \text{ operarios}$$

$$\text{Costo de contratar} = 25 \text{ operarios} * \$ 3800 = \$ 95 000$$

$$\text{Tiempo normal} = 65 \text{ operarios} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 25 \text{ días} = 13 000 \text{ horas}$$

$$\text{Costo de tiempo normal} = 13 000 \text{ horas} * \$ 80 \frac{\$}{\text{hora}} = \$ 1 040 000$$

**Tabla 14.** Resultados del plan agregado de fuerza laboral variable

Mes	Demanda (unidades)	Días laborables	Tiempo disponible	Número de operarios	Contratar	Despedir	Costo de contratar	Costo de despedir	Costo de tiempo normal
Enero	195 000	25	13 000.0	65	25	0	\$ 95 000	\$ -	\$ 1 040 000
Febrero	130 000	24	8 666.7	45	0	20	\$ -	\$ 118 000	\$ 693 333
Marzo	125 000	23	8 333.3	45	0	0	\$ -	\$ -	\$ 666 667
Abril	110 000	23	7 333.3	40	0	5	\$ -	\$ 29 500	\$ 586 667
Mayo	150 000	24	10 000.0	52	12	0	\$ 45 600	\$ -	\$ 800 000
Junio	110 000	24	7 333.3	38	0	14	\$ -	\$ 82 600	\$ 586 667
							\$ 140 600	\$ 230 100	\$ 4 373 333

Fuente: elaboración propia.

Costo de plan agregado = \$ 4 373 333+\$ 140 600+\$ 230 100

Costo de plan agregado = \$ 4 744 033

### Método de inventarios y faltantes

Tiempo disponible = 25 días\*8 horas día\*40 operarios = 8000 horas

Producción real =  $\frac{8000 \text{ horas}}{0.066667 \text{ horas/unidad}} = 120\,000 \text{ unidades}$

Inventario final=0+120 000-195 000 = -75 000

Faltantes = 75 000

Costo de faltantes = 75 000\*\$ 10=\$ 750 000

Costo tiempo normal = 8000 horas\*\$ 80 = \$ 640 000

**Tabla 15.** Resultados del plan agregado de faltantes e inventarios

Mes	Demanda (Unidades)	Días laborables	Tiempo disponible	Inventario inicial	Producción real	Inventario final	Faltantes	Costo de inventario	Costo de faltante	Costo tiempo normal
Enero	195 000	25	8000.0	0	120 000	0	75 000	\$ -	\$ 750 000	\$ 640 000
Febrero	130 000	24	7680.0	0	115 200	0	14 800	\$ -	\$ 148 000	\$ 614 400
Marzo	125 000	23	7360.0	0	110 400	0	14 600	\$ -	\$ 146 000	\$ 588 800
Abril	110 000	23	7360.0	0	110 400	400	0	\$ 1200	\$ -	\$ 588 800
Mayo	150 000	24	7680.0	400	115 200	0	34 400	\$ -	\$ 344 000	\$ 614 400
Junio	110 000	24	7680.0	0	115 200	5200	0	\$ 15 600		\$ 614 400
								\$ 16 800	\$ 1 388 000	\$ 3 660 800

Fuente: elaboración propia.

Costo de plan agregado = \$ 3 660 800+\$ 1 388 000+\$ 16 800

El costo del plan agregado es \$ 5 065 600.

### Método de subcontratación

Tiempo disponible = 25 días\*8 horas día\*40 operarios = 8000 horas

Producción real =  $\frac{8000 \text{ horas}}{0.066667 \text{ horas/unidad}} = 120\,000 \text{ unidades}$

Unidades subcontratación = 195 000-120 000 = 75 000

Costo de subcontratación = 75 000\*\$ 50 = \$ 3 750 000

Costo tiempo normal = 8000 horas\*\$ 80 = \$ 640 000

**Tabla 16.** Resultados de plan agregado de subcontratación

Mes	Demanda (unidades)	Días laborables	Tiempo disponible	Producción real	Unidades a subcontratar	Costo subcontratación	Costo de tiempo normal
Enero	195 000	25	8000,0	120 000	75 000	\$ 3 750 000	\$ 640 000
Febrero	130 000	24	7680,0	115 200	14 800	\$ 740 000	\$ 614 400
Marzo	125 000	23	7360,0	110 400	14 600	\$ 730 000	\$ 588 800
Abril	110 000	23	7360,0	110 400	0	\$ -	\$ 588 800
Mayo	150 000	24	7680,0	115 200	34 800	\$ 1 740 000	\$ 614 400
Junio	110 000	24	7680,0	115 200	0	\$ -	\$ 614 400
						\$ 6 960 000	\$ 3 660 800

Fuente: elaboración propia.

*Costo de plan agregado = \$ 3 660 800 + \$ 6 960 000*

*El costo del plan agregado es \$ 10 620 000.*

Cabe aclarar que no se tomaron los inventarios para no combinar estrategias.

### Método de horas extras

*Tiempo disponible = 25 días \* 8 horas día \* 40 operarios = 8000 horas*

*Producción real =  $\frac{8000 \text{ horas}}{0.066667 \text{ horas/unidad}} = 120 000 \text{ unidades}$*

*Inventario final = 0 + 120 000 - 195 000 = -75 000*

*Faltantes = 75 000  $\frac{0.0666667 \text{ horas}}{\text{unidad}} = 5000 \text{ horas}$*

*Costo tiempo normal = 8000 horas \* \$ 80 = \$ 640 000*

*Costo tiempo extra = 5000 horas \* \$ 120 = \$ 600 000*

**Tabla 17.** Resultados del plan agregado de horas extras

Mes	Demanda (unidades)	Días laborables	Inventario inicial	Tiempo disponible	Producción real	Tiempo extra	Producción extra	Inventario final	Costo tiempo normal	Costo de inventario	Costo tiempo extra
Enero	195 000	25	0	8000	120 000	5000	75 000	0	\$ 640 000	\$ -	\$ 600 000
Febrero	130 000	24	0	7680	115 200	986.6666667	14 800	0	\$ 614 400	\$ -	\$ 118 400
Marzo	125 000	23	0	7360	110 400	973.3333333	14 600	0	\$ 588 800	\$ -	\$ 116 800
Abril	110 000	23	0	7360	110 400	0	0	400	\$ 588 800	\$ 1200	\$ -
Mayo	150 000	24	400	7680	115 200	2293.3333333	34 400	0	\$ 614 400	\$ -	\$ 275 200
Junio	110 000	24	0	7680	115 200	0	0	5200	\$ 614 400	\$ 15 600	\$ -
									\$ 3 660 800	\$ 16 800	\$ 1 110 400
										Total	\$ 4 788 000

Fuente: elaboración propia.

*Costo de plan agregado = \$ 3 660 800 + \$ 16 800 + \$ 1 140 400*

*El costo del plan agregado es \$ 4 788 000.*

## 4.2 Estrategias mixtas

Este método consiste en la combinación de varias estrategias con el objetivo de minimizar los costos de producción, resulta más cercano a la realidad y, por lo general, presenta restricciones de capacidad, lo que implica realizar combinaciones para alcanzar las tasas de demanda de los productos. A continuación, se presentan algunos ejemplos de aplicación de estrategias mixtas.

### Ejemplo 11

El gerente de producción de una empresa de fabricación de galletas debe enviar al área financiera los costos del plan de producción para los próximos cuatro meses, para ello ha conformado familias de producto con SKU similares. La empresa ha determinado utilizar una política de contrataciones y despidos, por tanto, solo se pueden contratar y despedir máximo diez operarios al mes, no se pueden acumular contrataciones y despidos durante los periodos; si no se alcanza a cumplir con los requerimientos se debe pagar el faltante, es válido acumular el inventario. A partir de esta información se elaborará una estrategia que logre el mínimo costo del plan agregado. En la tabla 18 se presentan los datos necesarios para realizar el ejercicio.

**Tabla 18.** Parámetros para elaboración de plan agregado ejemplo 11

Mes	Demandas en toneladas	Días hábiles
Enero 2017	2000	25
Febrero 2017	1500	24
Marzo 2017	1350	23
Abril 2017	3560	28

Parámetros	Unidades
Costo de contratar	\$350/trabajador
Costo de despedir	\$800/trabajador
Costo tiempo normal	\$15/hora
Costo de almacenar	\$3/tonelada
Horas de trabajo	8 horas/día
Costo de faltante	\$500 000/tonelada
Número inicial de operarios	40 operarios
Materia prima	\$10/tonelada

Fuente: elaboración propia.

### Solución

Debido a que el costo de faltante es muy alto, se debe evitar esa situación, por tanto, es necesario acumular inventario para el mes de abril del 2017 donde las restricciones no permitieron cumplir con los requerimientos de producción. En la tabla 19 se presenta la solución del caso.

**Tabla 19.** Resultados de plan agregado mixto ejemplo 11

Mes	R prod.	D hab.	I inicial	Pr real	N op.	C	D	CC	CD	I final	C I	F	Costo T normal
Ene 2017	2000	25	-	2000	40	10	-	\$3.500	-	-	-	-	\$150 000
Feb 2017	1500	24	-	1920	50	-	-	-	-	420	\$1360	-	\$144 000
Mar 2017	1350	23	420	1840	50	-	-	-	-	910	\$2720	-	\$138 000
Abr 2017	3560	28	910	2688	60	10	-	\$3500	-	38	\$114	-	\$201600

Fuente: elaboración propia.

Total producción real = 8448 toneladas

Total costo de contratar = \$ 7000

Total costo de almacenar = \$ 4104

Costo de tiempo normal = \$ 633 600

Costo de plan agregado

$$= \$ 633\ 600 + \$ 7\ 000 + \$ 4\ 104 + (8448 \text{ toneladas} * \frac{\$ 10}{\text{toneladas}})$$

El costo de tiempo normal es \$ 729 184.

## Ejemplo 12

Eco de la Cordillera, una empresa embotelladora de agua, desea establecer un informe sobre los costos para el plan de producción en relación con la familia de producto de agua mineral del siguiente semestre. Para ello cuenta con una política de no despidos y contrataciones y debe recurrir a horas extra y a subcontratación para aumentar la capacidad de producción; debido a requerimientos sindicales, un trabajador solo puede laborar cuatro horas extra al día y no se puede subcontratar más de 1500 hectolitros cada mes; en caso de que no se pueda cumplir con las demandas, se debe asumir un costo faltante de \$75000/hectolitro. En la tabla 20 se presentan los datos correspondientes a los requerimientos de producción, días hábiles, costos, etc.

**Tabla 20.** Parámetros para el desarrollo del plan agregado ejemplo 12

Mes	Requerimientos de producción (hectolitros)	Días hábiles/mes
Julio 2016	6200	28
Agosto 2016	5300	24
Septiembre 2016	5350	25
Octubre 2016	5550	26
Noviembre 2016	7500	26
Diciembre 2016	10 500	25

Parámetros	Unidades
Costo tiempo normal	\$20/hora
Costo almacenar	\$3/hectolitro
Tiempo estándar	0.80 hora/hectolitro
Horas de trabajo/día	8 horas/día
Costo de subcontratación	\$35/hectolitro
Número de operarios	15 operarios
Costo de tiempo extra	\$28/hora
Costo de materia prima	\$2/hectolitro

Fuente: elaboración propia.

A partir de esta información, se debe encontrar la mejor estrategia para garantizar el mínimo costo, teniendo en cuenta las restricciones planteadas.

### Solución

Es necesario aprovisionarse de inventario para cumplir con los requerimientos del mes de diciembre, no es viable para el plan dejar unidades faltantes debido al alto costo, a continuación, se presenta la estrategia propuesta para el problema (tabla 21).

**Tabla 21.** Resultados de plan agregado mixto ejemplo 12

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
R prod.	6200	5300	5350	5550	7500	10500
D H	28	24	25	26	26	25
P real	4200	3600	3750	3900	3900	3750
I I	-	-	-	1775	3575	3425
I F	-	-	1775	3575	3425	-
Un. subc.	-	-	1500	1500	1500	1500
Costo subc.	-	-	\$52500	\$52500	\$52500	\$52500
Un extra	2000	1700	1875	1950	1950	1825
Costo alma.	-	-	\$5325	\$10725	\$10725	-
Costo extra	\$44800	\$38080	\$42000	\$43680	\$43680	\$40880
Costo T normal	\$67200	\$57600	\$60000	\$62400	\$62400	\$60000

Fuente: elaboración propia.

*Costo de plan agregado=(\$ 210 000+\$ 26 325+\$ 369 600+\$ 253 120)*

*El costo del plan agregado es \$ 905 245.*

57

### 4.3 Planeación agregada con programación lineal

Es posible resolver un plan agregado por medio de un modelo de programación lineal, según Narasimhan [10], esta puede lograr óptimos resultados. A continuación, se presenta un modelo de programación lineal.

#### Variables

$nXi$ =cantidades de unidades producidas en tiempo regular en periodo  $i$

$=1,2,3,4\dots n$

$Yi$ =cantidad de unidades producidas en tiempo extra en periodo  $i=1,2,3,4\dots n$

$Zi$ =cantidades de unidades subcontratadas en periodo  $i=1,2,3,4\dots n$

$li$ =unidades de inventario final de periodo  $i=1,2,3,4,\dots,$

## Parámetros

$C_i$ =costo de tiempo normal en periodo  $i=1,2,3,\dots,n$

$E_i$ =costo de tiempo extra en periodo  $i=1,2,3,4,\dots,n$

$S_i$ =costo de unidades subcontradas en periodo  $i=1,2,3,\dots,n$

$B_i$ =costo de unidades en inventario en periodo  $i=1,2,3,\dots,n$

$M_i$ =capacidad de unidades en tiempo regular en periodo  $i=1,2,3,\dots,n$

$N_i$ =capacidad de unidades en tiempo extra en periodo  $i=1,2,3,\dots,n$

$L_i$ =capacidad de unidades subcontratadas en periodo  $i=1,2,3,\dots,n$

$D_i$ =demanda en periodo  $i=1,2,3,4,\dots,n$

## Modelo de programación lineal

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & Z \\ \text{Min} Z = & C_i \sum_{i=1}^n X_i + E_i \sum_{i=1}^n Y_i + S_i \sum_{i=1}^n Z_i + B_i \sum_{i=1}^n I_i \\ \text{S.A} \end{aligned}$$

$$I_i = I_{i-1} + X_i + Y_i + Z_i - D_i$$

$$X_i \leq M_i$$

$$Y_i \leq N_i$$

$$Z_i \leq L_i$$

$$X_i, Y_i, Z_i, I_i \geq 0$$

58

Este tipo de modelos se pueden resolver por diferentes medios, por ejemplo, *solver*, o llegar a soluciones cercanas al óptimo por medio de los algoritmos de transporte como método de esquina noroccidental, costo mínimo, Vogel y cruce del arroyo. Se recomienda investigarlos para realizarlos.

## Ejemplo 13

Una empresa que fabrica un tipo especial de galletas precisa realizar un plan agregado para los próximos cuatro meses, con el propósito de determinar los niveles de producción y de inventario. Para realizar el plan agregado de producción se han identificado los siguientes datos: inventario inicial de 200 unidades, el costo por unidad regular es de \$10/unidad, el de unidad extra es \$12/unidad, el de unidad subcontratada \$15/unidad y el de mantenimiento de inventario es \$2/unidad. En la tabla 22 se muestran los niveles de producción en periodo regular, extra y las unidades subcontratadas.

**Tabla 22.** Datos para la elaboración de plan agregado ejemplo 13

Periodo	Unidades en tiempo regular	Unidades en tiempo extra	Unidades subcontratadas	Demanda
Enero 2020	600	150	600	1000
Febrero 2020	900	120	600	700
Marzo 2020	400	150	600	1500
Abril 2020	500	130	600	1350

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con esta información, se debe formular el modelo de programación lineal para el plan agregado y determinar por medio de un cuadro de transporte la mejor asignación por el costo mínimo.

### Ejemplo modelo de programación lineal

Definición de variables:

$X_i$ =cantidad de unidades en tiempo regular del mes  $i=1,2,3,4$

$Y_i$ =cantidad de unidades en tiempo extra del mes  $i=1,2,3,4$

$Z_i$ =cantidad de unidades en subcontratación del mes  $i=1,2,3,4$

$l_i$ =cantidad de unidades en subcontratación del mes  $i=1,2,3,4$

$Min z=10X_1+10X_2+10X_3+10X_4+12Y_1+12Y_2+12Y_3+12Y_4+15Z_1+15Z_2$   
 $+15Z_3+15Z_4+2l_1+2l_2+2l_3+2l_4$

S.A;

$$l_1=200+X_1+Y_1+Z_1-1600$$

$$l_2=l_1+X_2+Y_2+Z_2-1700$$

$$l_3=l_2+X_3+Y_3+Z_3-1900$$

$$l_4=l_3+X_4+Y_4+Z_4-1350$$

$$X_1 \leq 1000$$

$$X_2 \leq 900$$

$$X_3 \leq 1000$$

$$X_4 \leq 500$$

$$Y_1 \leq 150$$

$$Y_2 \leq 120$$

$$Y_3 \leq 150$$

$$Y_4 \leq 130$$

$$Z_1 \leq 600$$

$$Z_2 \leq 600$$

$$Z_3 \leq 600$$

$$Z_4 \leq 600$$

$$X_i, Y_i, Z_i, l_i \geq 0$$

**Tabla 23.** Cuadro de transporte

	<b>Demanda 1</b>	<b>Demanda 2</b>	<b>Demanda 3</b>	<b>Demanda 4</b>	<b>Oferta</b>
IO	0 200	2	4	6	200
TR 1	10 1000	12	14	16	1000
TE1	12 150	14	16	18	150
SUBC 1	15 250	17	19	21	600
TR2	M	10 900	12	14	900
TE2	M	12 120	14	16	120
SUBC 2	M	15 600	17	19	600
TR3	M	M	10 1000	12	1000
TE3	M	M	12 150	14	150
SUBC 3	M	M	15 600	17	600
TR4	M	M	M	10 500	500
TE4	M	M	M	12 130	130
SUBC 4	M	M	M	15 600	600
Demanda	1600	1700	1900	1350	

Fuente: elaboración propia.

60

Cabe recordar las siguientes indicaciones para realizar un cuadro de transporte:

- ▶ Equilibrar las demandas y ofertas, en caso de que no sean iguales, establecer un punto ficticio.
- ▶ Empezar a asignar en el costo menor teniendo en cuenta la capacidad de oferta y demanda.
- ▶ Asignar hasta consumir la capacidad de oferta y cumplir la demanda.

La solución del ejercicio sería la siguiente asignación:

TR1 = 1000 unidades = X1  
 TE 1 = 150 unidades = Y1  
 SUBC1 = 600 unidades = Z1  
 TR 2 = 900 unidades = X2  
 TE2 = 120 unidades = Y2  
 SUBC2 = 600 unidades = Z2  
 TR 3 = 1000 unidades = X3

TE 3= 150 unidades = Y3  
 SUBC 3= 600 unidades = Z4  
 TR 4 = 500 unidades = X4  
 TE4 = 130 unidades = Y4  
 SUBC 4 = 600 unidades= Z4  
 El costo del plan agregado es \$78 080.

## Taller de ejercicios

### Ejercicio 1

Un restaurante de comidas rápidas requiere realizar su plan de producción agregado para la familia de productos de hamburguesas, proyectado en los próximos seis meses, para esto ha tenido en cuenta contratar y despedir empleados dependiendo de la demanda. Sin embargo, debido a varios reclamos de los clientes y a un estudio realizado, el restaurante decide que esta no es una buena idea y establece una política de máximo cinco empleados despedidos por mes o, en caso de un aumento de demanda, contratar un número límite de seis trabajadores. También se ha considerado realizar horas extra, con un máximo de cuatro diarias para cada operario, en caso de no suplir la demanda correspondiente se ha determinado encomendar las hamburguesas a un tercero, que solo tiene capacidad de fabricar dos mil por mes. Se cuenta con un inventario inicial de 100 hamburguesas en enero y se debe tener un inventario final para junio de 2016 de 1800 hamburguesas. A continuación, se detalla la información para realizar el plan agregado de producción.

61

Mes	Requerimientos de producción (unidades hamburguesas)	Días hábiles al mes
Enero 2016	31400	28
Febrero 2016	38500	30
Marzo 2016	50850	30
Abril 2016	25550	30
Mayo 2016	21400	28
Junio 2016	80500	28

Descripción	Unidades
Costo de contratar	\$20 000/operario
Costo de despedir	\$100 000/operario
Costo tiempo normal (mano de obra)	\$2200/hora
Costo de almacenar inventario	\$25/hamburguesa
Tiempo de procesamiento	0.16 horas/hamburguesa
Horas de trabajo/día	8 horas/día
Costo de subcontratar unidades	\$500/hamburguesa
Costo por faltante	\$55 000/hamburguesa
Número inicial de operarios	12 operarios
Costo tiempo extra	\$2000/hora
Costo de materia prima	\$20/hamburguesa

## Ejercicio 2

Una compañía de alimentos ha conformado familias de productos, el jefe de planta debe realizar un plan agregado para los próximos seis meses para la familia de productos X, que son los más importantes de la compañía; para ello tiene cuatro políticas a la mano: contratar y despedir operarios, tener inventarios, subcontratar la fabricación de productos y horas extras. A continuación, se presentan las estadísticas y datos correspondientes para realizar los planes agregados.

Mes	Demandas en toneladas	Días hábiles al mes
Enero 2016	2300	28
Febrero 2016	2500	24
Marzo 2016	1800	25
Abril 2016	1550	26
Mayo 2016	2400	26
Junio 2016	3500	25

Descripción	Unidades
Costo de contratar	\$450/trabajador
Costo de despedir	\$600/trabajador
Costo tiempo normal (mano de obra)	\$10/hora
Costo de almacenar inventario	\$3/tonelada
Tiempo de procesamiento	7 horas/tonelada
Horas de trabajo/día	8 horas/día
Costo de subcontratar unidades	\$35/tonelada
Costo por faltante	\$50/tonelada
Número inicial de operarios (solo para horas extras)	60 operarios
Costo tiempo extra	\$14/hora

62

A partir de esta información, determinar los costos de los planes agregados y la mejor política de plan agregado.

## Ejercicio 3

El gerente de producción debe establecer un informe sobre los costos para el plan de producción del siguiente semestre, para ello es importante considerar que en la compañía hay una política de no despidos y contrataciones, de manera que se debe recurrir a las horas extras y la subcontratación, además, debido a requerimientos sindicales, un trabajador solo puede trabajar cuatro horas extra al día y no se pueden subcontratar más de 300 unidades. En caso de que no se pueda cumplir con la demanda, se debe asumir un costo faltante de \$500/tonelada. A continuación, se presentan los datos correspondientes a las demandas, días hábiles y costos, a partir de esta información, formule la mejor estrategia para el plan semestral de producción.

Mes	Demanda en toneladas	Días hábiles al mes
Enero 2016	2400	28
Febrero 2016	2500	24
Marzo 2016	1850	25
Abril 2016	1550	26
Mayo 2016	2400	26
Junio 2016	3500	25

Descripción	Unidades
Costo tiempo normal (mano de obra)	\$10/hora
Costo de almacenar inventario	\$3/tonelada
Tiempo de procesamiento	7 horas/tonelada
Horas de trabajo/día	8 horas/día
Costo de subcontratar unidades	\$35/tonelada
Costo por faltante	\$500/tonelada
Número inicial de operarios	50 operarios
Costo tiempo extra	\$14/hora

#### Ejercicio 4

Una empresa de bicicletas requiere realizar su plan de producción agregado para los próximos seis meses, para ello ha considerado contratar y despedir empleados teniendo en cuenta la demanda, sin embargo, debido a varios fallos en la calidad de las bicicletas, se ha observado que esta no es una buena idea y ha considerado implementar una política de despido máximo de cuatro empleados por mes o, en caso de un aumento de demanda, contratar un número límite de cinco trabajadores; también ha contemplado realizar horas extra debido al esfuerzo y a la gran cantidad de accidentes de los trabajadores, con un número máximo de dos horas extra al día. En caso de no suplir la demanda correspondiente, se ha determinado encargar la fabricación de las bicicletas a un tercero, que solo tiene capacidad de producir 800 bicicletas por mes. A continuación, se muestra la información para realizar el plan agregado de producción.

63

Mes	Demanda (bicicleta)	Días hábiles al mes
Julio 2016	6400	24
Agosto 2016	7500	25
Septiembre 2016	8850	25
Octubre 2016	3550	26
Noviembre 2016	4400	26
Diciembre 2016	9500	25

Descripción	Unidades
Costo de contratar	\$250/operario
Costo de despedir	\$600/operario
Costo tiempo normal (mano de obra)	\$13/hora
Costo de almacenar inventario	\$3/bicicleta
Tiempo de procesamiento	30 minutos/bicicleta
Horas de trabajo/día	8 horas/día
Costo de subcontratar unidades	\$50/bicicleta
Costo por faltante	\$350/bicicleta
Número inicial de operarios	10 operarios
Costo tiempo extra	\$17/hora



# Capítulo 5. Plan Maestro de Producción (MPS) y Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)

Para el buen desarrollo de la planeación de la producción a corto y mediano plazo la industria ha utilizado herramientas como el Plan Maestro de Producción (MPS) y el Plan de Requerimientos de Materiales (MRP). Estos recursos surgieron en los años setenta del siglo pasado y fueron avanzando con las filosofías de producción, ya que al principio se utilizó para sistemas *push*, pero también se puede observar en otros como *Just in Time* o *pull*. A continuación, se explicarán el MPS y MRP con mayor profundidad.

## 5.1 Plan Maestro de Producción (MPS)

65

El Plan de Maestro de Producción (MPS) es una herramienta que ayuda a los planeadores de producción a establecer decisiones en un horizonte de planeación operativo determinando cuándo deben lanzarse las órdenes de fabricación de un producto, esto implica que la planeación de producción se debe realizar por cada SKU y no en familias de productos, como se realizó anteriormente con la planeación agregada.

Para desarrollar el MPS es importante tener en cuenta los pedidos de los clientes, el inventario del producto, el tamaño del lote, los pronósticos de ventas del producto o las producciones reales generadas en el plan agregado y que deben desagregarse en SKU. A continuación, se definen las fórmulas correspondientes:

*Si el inventario inicial < Max (pronóstico, pedidos); el MPS será > 0*

*Inventario final = Inventario Inicial + MPS - Max (pronóstico, pedidos)*

### Ejemplo 14

El analista de producción de la empresa AAA debe realizar el plan maestro de producción para determinar cuándo debe lanzar las órdenes de producción del producto con SKU 1457, a partir de un inventario inicial de 1000 unidades y un lote de 2000 unidades, a continuación, se presentan los pronósticos y los pedidos comprometidos con los clientes (tabla 24), que permitirán desarrollar el MPS para el SKU 1457 de las siguientes seis semanas (tabla 25).

**Tabla 24.** Datos para Plan Maestro de Producción (MPS) ejemplo 14

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Pronóstico	800	800	700	800	500	600
Pedidos	500	600	500	900	100	0

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 25.** Desarrollo de Plan Maestro de Producción (MPS) ejemplo 14

Inventario inicial	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Pronóstico	1000	200	1400	700	1800	1300
Pedidos	800	800	700	800	500	600
Inventario final	200	1400	700	1800	1300	700
MPS		2000		2000		

Fuente: elaboración propia.

Según los cálculos realizados, se deben enviar las órdenes de producción en las semanas 2 y 4, con un lote de producción de 2000 unidades.

## 5.2 Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)

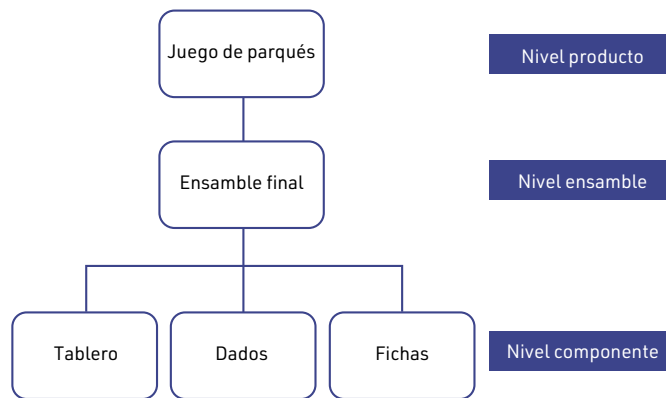
66

El MRP es una herramienta lógica para definir los números de partes o componentes necesarios para fabricar un producto, se trata de un desarrollo de la ingeniería industrial universal ya que su lógica es muy fácil de trabajar en empresas de cualquier magnitud. Cabe resaltar que el MRP tiene mayor utilidad en procesos donde se realicen ensambles de fabricación y donde la producción sea en masa, que en un trabajo por proyectos o de niveles de producción bajos. El MRP se basa en una demanda dependiente, por ejemplo, las llantas o los frenos en la fabricación de bicicletas.

Para el desarrollo del MRP se requieren los siguientes insumos:

- ▶ Plan Maestro de Producción (MPS).
- ▶ Lista de materiales: define las partes o componentes que tienen una demanda dependiente.
- ▶ Maestro de artículos: lista de artículos o partes que tienen una demanda independiente.
- ▶ Explosión de materiales BOM: información donde se especifica la relación existente entre los artículos finales, partes y componentes. En la figura 10 se presenta un ejemplo sencillo de explosión de materiales.

**Figura 10.** Ejemplo de explosión de materiales



Fuente: elaboración propia.

- ▶ **Lead time:** es el tiempo comprendido entre el inicio de la orden de fabricación de una pieza hasta que se encuentra dispuesta para su fabricación o ensamble.
- ▶ **Tamaño de lote producción:** característica que influye en el desarrollo de MRP en función del cumplimiento de la demanda y de la prevención de un exceso de inventario que aumente los costos. Dentro del cálculo de los tamaños de lotes de producción se tienen técnicas como el EOQ (cantidad económica de pedido) y el costo total mínimo o lote por lote (LXL).

67

### 5.2.1 Desventajas del Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)

Dentro de las desventajas del MRP se identifica que su lógica no tiene en cuenta la capacidad, ya que supone que esta es ilimitada, así como la necesidad de seguir los resultados del MPS, que provienen del diseño de los pronósticos, que puede generar errores fuertes en el MRP y ocasionar un nerviosismo en el sistema, lo que implica un cambio frecuente en los cálculos y resultados. Otra desventaja importante es la dependencia de la cantidad de inventario, ya que si no es suficiente para mitigar la demanda y conformar un lote suficiente para cumplir con el *lead time*, puede generar órdenes retrasadas y la pérdida de lógica del sistema.

### 5.2.2 Lógica del Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)

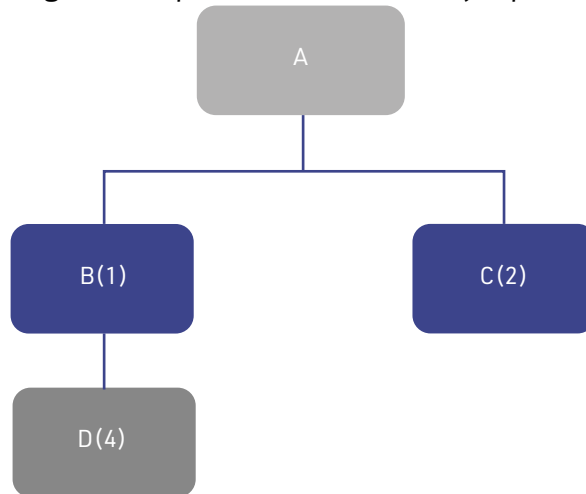
Para el desarrollo de la lógica del MRP es necesario realizar la programación de los requerimientos brutos y netos. Los primeros [2] se definen como aquel programa que tiene en cuenta la demanda total de un artículo sin considerar los inventarios y las recepciones programadas, este es un recurso útil ya que define cuándo debe solicitar unidades a los proveedores y en qué momento se debe iniciar la producción para cumplir con la demanda solicitada. A continuación, se muestra un ejemplo para ampliar la comprensión al respecto.

### Ejemplo 15

Una tienda de desayunos ha desarrollado un kit para celebrar el Día de la Madre. Se estima vender 400 kits A, para ello se realizó una explosión de materiales, como se observa en la figura 11, y se espera que para el día 12 de mayo se cuente con todos los kits. El plazo para ensamblar y entregar los 400 kits A es de un día, una vez se tengan las demás partes listas, las cuales se solicitan a varios proveedores que tienen los siguientes plazos para la entrega: B (dos días), D (un día) y C (cuatro días). A partir de esta información, se determinará un programa de requerimientos brutos que defina cuántas unidades de partes para el kit se deben solicitar y cuándo debe hacerse la solicitud.

68

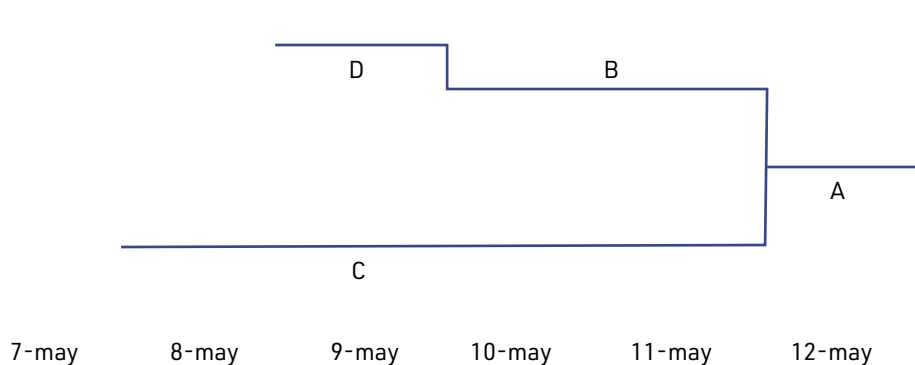
**Figura 11.** Explosión de materiales ejemplo 14



Fuente: elaboración propia.

Para la resolución del ejercicio es importante realizar un plan escalonado de fechas que permita visualizar los días de solicitud a los proveedores (figura 12).

**Figura 12.** Plan escalonado de fechas de entrega



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 12, el ensamble del kit A debe iniciar el 11 de mayo, para tener los materiales es preciso lanzar las órdenes de las partes B el día 9 de mayo y de las C el 7 de mayo, para D se debería pedir el material el 8 de mayo con el propósito de iniciar el proceso de la parte B. A continuación, se presenta el plan de requerimientos brutos (tabla 26).

**Tabla 26.** Desarrollo de Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) ejemplo 15

	7-mayo	8-mayo	9-mayo	10-mayo	11-mayo	12-mayo
<b>A</b> Fecha solicitada						400
<b>A</b> Fecha de liberación					400	
<b>B</b> Fecha solicitada					400	
<b>B</b> Fecha de liberación			400			
<b>C</b> Fecha solicitada					800	
<b>C</b> Fecha de liberación	800					
<b>D</b> Fecha solicitada			1600			
<b>D</b> Fecha de liberación		1600				

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.3 Programación de requerimientos netos

Por medio del programa de requerimientos netos es posible determinar el lanzamiento de órdenes de fabricación y compra, teniendo en cuenta factores como los inventarios, las recepciones programadas, *lead time*, tamaño de lote y MPS. En la programación de requerimientos netos se tienen en cuenta los siguientes ítems: requerimientos brutos, los cuales provienen del MPS en caso de producto o de las órdenes planeadas; las recepciones programadas, que consisten en órdenes que se realizaron con anterioridad y que cumplen con la función de suplir la demanda; el inventario proyectado; los requerimientos netos que corresponden a las necesidades descontando los inventarios; las recepciones planeadas que se determinan de los requerimientos netos; y las órdenes de lanzamiento, que provienen de las recepciones planeadas y del *lead time*.

A continuación, en la tabla 27, se presentan los datos para el desarrollo de la programación de requerimientos netos.

**Tabla 27.** Tabla de programación de requerimientos netos

Artículo	0	1	2	3	4	5
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas						
Inventario proyectado						
Requerimientos netos						
Recepciones planeadas						
Órdenes de lanzamientos						

Fuente: elaboración propia.

Fórmulas:

*Inventario proyectado i*

*=Inventario proyectado i-1+Recepciones planeadas i*

*+Recepciones programadas i-Requerimientos brutos*

*Si Inventario i-1+Recepciones programadas i-Requerimientos brutos i es >*

*0+SS, los requerimientos netos son iguales a cero, Si no*

*Requerimientos netos i*

*=Requerimientos brutos i-Inventario proyectado i-1+SS*

*Recepciones planeadas i=Requerimientos netos i+SS*

Las órdenes de lanzamiento son iguales a las recepciones planeadas y se ubican en el cubo de tiempo según el *lead time*.

### Ejemplo 16

El analista de producción de una fábrica debe realizar la programación de órdenes de compras y producción del SKU A para las siguientes seis semanas, para ello cuenta con los datos expuestos en la tabla 28.

70

**Tabla 28.** Desarrollo del Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) ejemplo 16

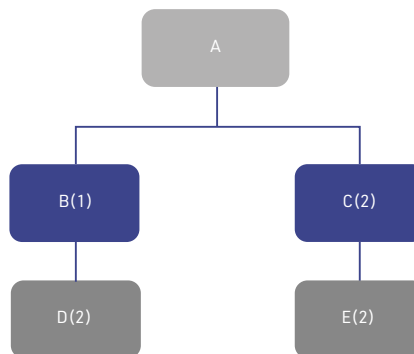
Semana	1	2	3	4	5	6
MPS	200	150	150	200	200	150

Parte	Lead time	Tamaño lote	Inventario inicial	SS
A	1 semana	200	300	0
B	1 semana	250	400	20
C	2 semanas	LXL	1000	10
D	1 semana	300	500	20
E	2 semanas	LXL	400	0

Fuente: elaboración propia.

**Figura 13.** Explosión de materiales ejemplo 16



Fuente: elaboración propia.

En la semana 2 se tiene prevista una recepción programada de la parte B conformada por 50 unidades.

### Solución

<b>A</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Requerimientos brutos		200	150	150	200	200	150
Recepciones programadas							
Inventario proyectado	300	100	150	0	0	0	50
Requerimientos netos			50	0	200	200	150
Recepciones planeadas			200	0	200	200	200
Órdenes de lanzamientos		200	0	200	200	200	

Fuente: elaboración propia.

*Lead time* = 1 semana

Tamaño de lote= 200

SS=0

<b>B</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Requerimientos brutos		200	0	200	200	200	
Recepciones programadas			50				
Inventario proyectado	400	200	250	50	100	150	150
Requerimientos netos					150	120	
Recepciones planeadas					250	250	
Órdenes de lanzamientos				250	250		

*Lead time* = 1 semana

Tamaño de lote = 250

SS = 20

<b>C</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Requerimientos brutos		200	0	200	200	200	
Recepciones programadas							
Inventario proyectado	600	400	400	200	10	10	10
Requerimientos netos					10	200	
Recepciones planeadas					10	200	
Órdenes de lanzamientos			10	200			

*Lead time* = 2 semanas

Tamaño de lote = LXL

SS = 10

D	0	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos				500	500		
Recepciones programadas							
Inventario proyectado	500	500	500	500	500	500	500
Requerimientos netos				20	20		
Recepciones planeadas				500	500		
Órdenes de lanzamientos			500	500			

*Lead time* = 1 semana

Tamaño de lote = 500

SS = 20

E	0	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos			20	400			
Recepciones programadas							
Inventario proyectado	400	400	380	0	0	0	0
Requerimientos netos				20			
Recepciones planeadas				20			
Órdenes de lanzamientos		20					

*Lead time* = 2 semanas

Tamaño de lote = LXL

SS = 0

72

### 5.3 Cálculo del tamaño del lote en el Plan de Requerimientos de Materiales (MRP)

Para el desarrollo del MRP es importante determinar el tamaño de lote más adecuado para el manejo de inventarios, a continuación, se presentará un ejemplo utilizando tres métodos para el cálculo del tamaño del lote: lote por lote (LXL), EOQ (cantidad económica de pedido) y cantidad periódica; cabe resaltar que es necesario tener en cuenta los costos de preparar lote y de mantener inventario.

#### Ejemplo 17

La fábrica OMGA ha contratado un analista de producción para calcular el tamaño de lote más adecuado para el componente XW, el costo de preparación es de \$200 y el de mantener inventario es de \$3/semana, el *lead time* es de 1 semana y el inventario disponible es de 40 unidades, a continuación, se presentan los requerimientos brutos en las siguientes semanas (tabla 29).

**Tabla 29.** Datos para sistema de loteo ejemplo 17

Semana	0	1	2	3	4	5	6	7
RB		40	50	10	60	40	30	40

Fuente: elaboración propia.

### 5.3.1 Método lote por lote (LXL)

En el método LXL se busca que el tamaño del lote de producción iguale la demanda, por tanto, en los cubos de tiempo de inventario proyectado, por lo general, no se reflejan las unidades de inventario.

**Tabla 30.** Resultados del método lote por lote (LXL) ejemplo 17

Artículo	0	1	2	3	4	5	6	7
Requerimientos brutos		40	50	10	60	40	30	40
Recepciones programadas								
Inventario proyectado	40	0	0	0	0	0	0	
Requerimientos netos			50	10	60	40	30	40
Recepciones planeadas			50	10	60	40	30	40
Órdenes de lanzamientos		50	10	60	40	30	40	

Fuente: elaboración propia.

Se deben preparar 6 lotes, el costo total es:

$$\text{Costo total} = 6 \text{ lotes} * \frac{\$ 200}{\text{lote}} = \$ 1200$$

73

### 5.3.2 Método EOQ (cantidad económica de pedido)

Para el cálculo del tamaño de lote se utiliza la fórmula del EOQ, que se muestra a continuación:

$H$  = costo de mantener inventario

$S$  = costo de hacer pedidos

$D$  = demanda anual

$Q$  = tamaño del lote

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

$D$  = suma de los requerimientos brutos

$$D = \frac{270}{6} = 45 \frac{\text{unidades}}{\text{semanas}} * 52 \text{ semanas} = 2340 \text{ unidades}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2(2340)(20)}{3 * 52}} = 77.56$$

**Tabla 31.** Resultados de EOQ (cantidad económica de pedido) ejemplo 17

Artículo	0	1	2	3	4	5	6	7
Requerimientos brutos		40	50	10	60	40	30	40
Recepciones programadas								
Inventario proyectado	40	0	27	17	34	71	41	1
Requerimientos netos		0	77	0	77	77	0	0
Recepciones planeadas		0	77	0	77	77	0	0
Órdenes de lanzamientos		77	0	77	77	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Costo de ordenar} = 3 * \$ 200 = \$ 600$$

$$\text{Costo de mantener inventario} = 191 \text{ unidades} * \$ 3 = \$ 573$$

$$\text{Costo total} = \$ 600 + \$ 573 = \$ 1173$$

### 5.3.4 Método de cantidad periódica

Para el método de cantidad periódica se presentan los siguientes pasos:

$$\text{Cantidad periódica} = \frac{77}{38.5} = 1.99 \text{ tiende a 2 semanas}$$

$$Q1 = 40 + 50 = 90$$

$$Q2 = 10 + 60 = 70$$

$$Q3 = 40 + 30 + 40 = 110$$

1. Dividir el EOQ con el promedio semanal de requerimientos brutos.
2. Sumar las demandas según el resultado del inciso 1 y con este resultado calcular el Q.

**Tabla 32.** Resultados de cantidad periódica ejemplo 17

Artículo	0	1	2	3	4	5	6	7
Requerimientos brutos		40	50	10	60	40	30	40
Recepciones programadas								
Inventario proyectado	40	0	40	30	40	0	80	40
Requerimientos netos		0	90	0	70	0	110	0
Recepciones planeadas		0	90	0	70	0	110	0
Órdenes de lanzamientos		90	0	70	0	110	0	0

Fuente: elaboración propia.

Por tanto, la mejor opción de tamaño de lote es el EOQ.

$$\text{Costo de ordenar} = 3 * \$ 200 = \$ 600$$

$$\text{Costo de mantener inventario} = 230 \text{ unidades} * \$ 3 = \$ 690$$

$$\text{Costo total} = \$ 600 + \$ 690 = \$ 1290$$

## Taller de ejercicios

### Ejercicio 1

A continuación, se presentan los datos correspondientes a ocho semanas de una familia de galletas de una empresa harinera, compuesta por tres productos: Galletas A (30%), Galletas B (30%) y Galletas C (40%). Por medio de la información correspondiente, genere el MPS para los tres productos.

Tipo	Inventario inicial	Tamaño de lote
Galletas A	230	900
Galletas B	250	800
Galletas C	100	1000

### Ejercicio 2

El analista de planificación de producción de una empresa debe realizar la planificación de materiales del producto A, el cual está compuesto por un ensamble de B y dos ensambles de C; el ensamble B se conforma por dos componentes de D y un componente de E; el ensamble C está conformado por un componente de F y dos componentes de G. Se espera una recepción programada de 100 unidades de producto A en la semana 1 y una recepción programada de 200 unidades del componente E en la semana 2. A continuación, se presentan los datos correspondientes.

75

MPS	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Producto A	500	800	900	600	900	200	320	600

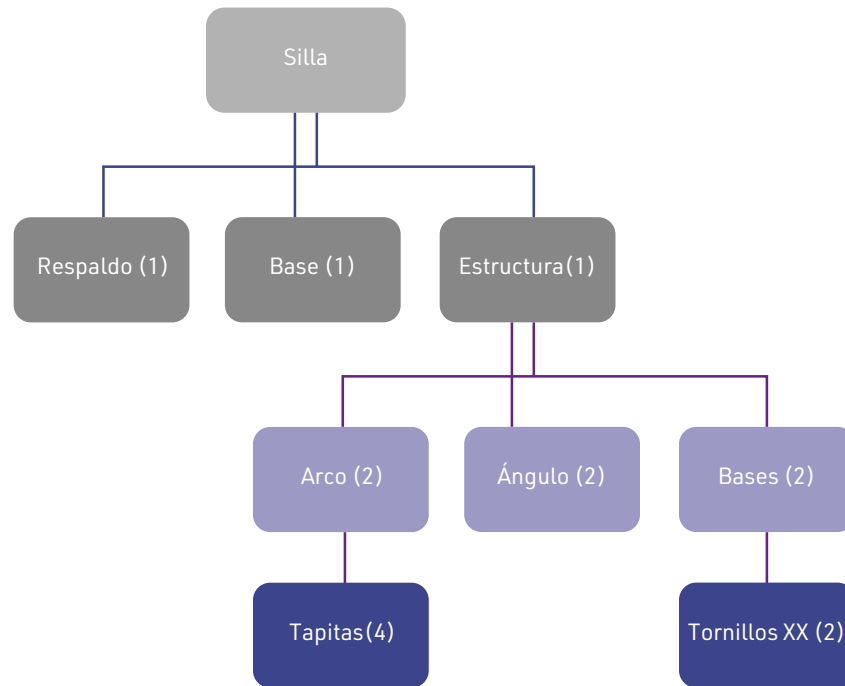
Elemento	Inventario inicial	Tamaño de lote	Lead time	Clase
A	1000	100	1 semana	Producido
B	1200	100	1 semana	Producido
C	1100	300	1 semana	Producido
D	900	200	1 semana	Comprado
E	1000	250	2 semanas	Comprado
F	800	300	2 semanas	Comprado
G	1000	280	2 semanas	Comprado

- Realice la EXPLOSIÓN de materiales.
- Determine en qué semanas y en qué cantidades se deben emitir las órdenes de producción y compra.

### Ejercicio 3

Una fábrica de muebles desea establecer las semanas en que debe realizar las órdenes de compra y producción para la fabricación de una silla con SKU 10 000, a continuación, en la figura 14, se presentan los datos correspondientes para realizar el cálculo.

**Figura 14.** Explosión de materiales para elaboración de silla



Fuente: elaboración propia.

MPS	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Silla 10 000	600	800	200	600	1800	400	240	600

Elemento	Inventario inicial	Tamaño de lote	Lead time	Stock de seguridad	Clase
Espaldar 20001	1600	500	1 semana	100	Producido
Base 20002	1900	500	1 semana	100	Producido
Estructura 20003	1700	600	1 semana	80	Producido
Arco 30001	1100	600	1 semana	80	Comprado
Angulo 30002	1800	600	2 semanas	200	Comprado
Bases 30003	1800	500	2 semanas	170	Comprado
Tapitas 40001	1600	800	2 semanas	180	Comprado
Tornillos 40002	3000	1000	1 semana	200	Comprado

# Capítulo 6.

## Programación y secuenciación de operaciones

La programación de operaciones busca optimizar la utilización de recursos como máquinas, operarios y tiempos para la producción de los artículos, con el propósito de cumplir las metas de producción. La programación de producción [10] puede clasificarse de dos formas:

- ▶ Programación hacia adelante: define la obtención de materiales y el inicio de las operaciones cuando se conocen los requisitos de producción, este tipo de programación tiene como objetivo la acumulación de inventario en proceso y se utiliza generalmente en procesos metalmecánicos.
- ▶ Programación hacia atrás: comienza con la fecha de entrega, la operación final se programa primero y las operaciones se asignan de forma inversa. Para el desarrollo de la programación de producción [5] es importante la asignación de tareas y centros de trabajo, para ello es determinante tener en cuenta la capacidad, por ejemplo, si el método de programación asigna solo hasta la capacidad de proceso, se define como carga finita, por el contrario, cuando una técnica carga trabajo sin tener en cuenta la capacidad de procesos se define como infinita —el Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) es una técnica de capacidad infinita—.

Para realizar una buena programación de operaciones se recomienda tener en cuenta los siguientes objetivos:

- ▶ Minimizar el tiempo de terminación.
- ▶ Minimizar el *work in progress* (WIP) o inventario en proceso.
- ▶ Minimizar el tiempo de espera.
- ▶ Maximizar la utilización de los recursos.

Existe una gran cantidad de técnicas heurísticas que buscan mejorar la secuenciación y programación de operaciones, en este libro explicaremos las más populares y básicas para el desarrollo de este proceso.

## 6.1 Razón crítica

Este método tiene como función determinar cuál es la orden de trabajo más atrasada y darle prioridad, su cálculo es sencillo y se explica a continuación.

1. Calcule el índice de razón crítica que se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Razón crítica} = \frac{\text{Tiempo restante}}{\text{Días de trabajo restante}}$$

2. Es importante dar prioridad a los trabajos con menor índice de razón crítica. Si este índice es menor significa que el trabajo está atrasado.

### Ejemplo 18

La empresa OMGA, una fábrica de motores, tiene las siguientes órdenes de trabajo que debe procesar a sus clientes (tabla 33), la fecha actual es 22 de julio del 2020.

78

**Tabla 33.** Datos secuenciación ejemplo 18

Orden de trabajo	Fecha de entrega	Duración de la orden de trabajo
A1	25 de julio	3 días
B2	23 de julio	2 días
C3	30 de julio	1 día
D4	2 de agosto	8 días

Fuente: elaboración propia.

Determine la secuenciación de trabajos por medio del método de razón crítica:

$$RCA1 = \frac{3 \text{ días}}{3 \text{ días}} = 1$$

$$RCB2 = \frac{1 \text{ días}}{2 \text{ días}} = 0,5$$

$$RCB3 = \frac{7 \text{ días}}{1 \text{ días}} = 7$$

$$RCB4 = \frac{11 \text{ días}}{8 \text{ días}} = 1,375$$

Como se puede observar, la secuencia de trabajos iniciaría con la orden de trabajo B2. Por lo tanto, la secuencia sería la siguiente B2-A1-D4-C3.

## 6.2 Reglas de prioridad

Las reglas de prioridad en la programación de operaciones y la secuenciación sirven para definir la secuencia de las órdenes de trabajo, las más utilizadas son las siguientes:

FIFO (primero en entrar y primero en salir): prioriza la primera orden de trabajo en el procesamiento.

SPT (tiempo más corto de procesamiento): da prioridad a las órdenes de trabajo con el tiempo más corto de procesamiento.

EMP (entrega más próxima): prioriza la entrega más cercana en el tiempo.

LPT (tiempo más largo de procesamiento): prioriza las órdenes de trabajo con el tiempo más largo de fabricación.

### Ejemplo 19

La empresa OMGA tiene cinco órdenes de trabajo de mantenimiento de bicicletas y le ha solicitado al analista de producción que determine la secuencia de los trabajos. Con este propósito, se ha decidido utilizar las reglas de prioridad y el indicador que genere menos retraso como la secuencia más adecuada. En la tabla 34 se presentan los órdenes según el tiempo de llegada.

79

**Tabla 34.** Datos secuenciación ejemplo 19

Órdenes de trabajo	Tiempo de procesamiento (días)	Fecha de entrega de trabajo (días)
A01	4	9
B02	8	7
C03	5	12
D04	3	16
E05	6	24

Fuente: elaboración propia.

### Solución

Iniciaremos con la regla de prioridad FIFO, es importante calcular el tiempo de flujo y los retrasos de las órdenes.

**Tabla 35.** Solución de secuenciación ejemplo 19

Secuencia	Tiempo de procesamiento	Tiempo de flujo	Fecha de entrega	Retrasos
A01	4	4	9	0
B02	8	12	7	5
C03	5	19	12	7
D04	3	22	16	6
E05	6	28	24	4

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se calculan los siguientes indicadores:

$$\text{Tiempo de finalización promedio} = \frac{\text{Total de tiempo de flujo}}{\text{Cantidad de órdenes de trabajo}}$$

$$\text{Tiempo de finalización} = \frac{85 \text{ días}}{5} = 17 \text{ días}$$

$$\text{Grado de utilización} = \frac{\text{Tiempo total de procesamiento}}{\text{Total de tiempo de flujo}}$$

$$\text{Grado de utilización} = \frac{26}{85} = 30 \%$$

$$\text{Trabajos en el sistema} = \frac{\text{Total de tiempo de flujo}}{\text{Tiempo total de procesamiento}}$$

$$\text{Trabajos en el sistema} = \frac{85}{26} = 3.26 \text{ trabajos en proceso}$$

$$\text{Retrasos promedio del trabajo} = \frac{22}{5} = 4.4 \text{ días}$$

### 6.2.1 Regla de prioridad LPT

En primer lugar, se inicia la secuencia el tiempo más largo de procesamiento, por tanto, el orden sería como se expone en la tabla 36.

**Tabla 36.** Solución de regla LPT ejemplo 19

Secuencia	Tiempo de procesamiento	Tiempo de flujo	Fecha de entrega	Retrasos
B02	8	8	7	1
E05	6	14	24	0
C03	5	19	12	7
A01	4	23	9	14
D04	3	26	16	10

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Tiempo de finalización promedio} = 18 \text{ días}$$

$$\text{Grado de utilización} = 28.88 \%$$

$$\text{Trabajos en el sistema} = 3.46 \text{ trabajos en proceso}$$

$$\text{Retrasos promedio del trabajo} = 6.4 \text{ días}$$

### 6.2.2 Regla de prioridad EMP

Primero se secuencia la orden de trabajo con entrega de tiempo más cercana, como se muestra en la tabla 37.

**Tabla 37.** Solución de regla EMP ejemplo 19

Secuencia	Tiempo de procesamiento	Tiempo de flujo	Fecha de entrega	Retrasos
B02	8	8	7	1
A01	4	12	9	3
C03	5	17	12	5
D04	3	20	16	4
E05	6	26	24	2

Fuente: elaboración propia.

*Tiempo de finalización promedio = 16.6 días*

*Grado de utilización = 31.11 %*

*Trabajos en el sistema = 3.19 trabajos en proceso*

*Retraso promedio del trabajo = 3 días*

## 6.2.4 Regla de Prioridad SPT

Se inicia la secuencia con el tiempo más corto de procesamiento, como se expone en la tabla 38.

**Tabla 38.** Solución por regla SPT ejemplo 19

Secuencia	Tiempo de procesamiento	Tiempo de flujo	Fecha de entrega	Retrasos
D04	3	3	16	0
A01	4	7	9	0
C03	5	12	12	0
E05	6	18	24	0
B02	8	26	7	19

*Fuente: elaboración propia.*

*Desarrollo de la secuenciación con regla SPT*

*Tiempo de finalización promedio = 13.2 días*

*Grado de utilización = 39.39 %*

*Trabajos en el sistema = 2.53 trabajos en proceso*

*Retraso promedio del trabajo = 3.8 días*

81

Según los cálculos realizados, la mejor opción es desarrollar una secuencia basada en la regla de prioridad de la entrega más próxima (EMP), ya que el retraso promedio del trabajo es de tres días.

## 6.3 Secuencia de máquinas en serie

Cuando tenemos procesos en serie y la orden de trabajo debe pasar por dos máquinas, se puede utilizar la regla de Johnson, que busca disminuir el tiempo de procesamiento. Para la aplicación de esta regla es necesaria la utilización del diagrama de Gantt con el objetivo de visualizar los tiempos ociosos y productivos de los centros de trabajo. La regla de Johnson [9] tiene el siguiente procedimiento:

1. Definir la lista de las órdenes de trabajo teniendo en cuenta los tiempos de procesamiento en cada estación de trabajo.
2. Seleccionar la orden de trabajo que tenga el tiempo de procesamiento más corto, si esta se ubica en la primera estación, entonces se programa primero, pero si está en la segunda estación, se programa al final.

3. Si se programa una orden de trabajo ya no debe tenerse en cuenta para programarse.
4. Aplicar los pasos 2 y 3 hasta finalizar la programación.

### Ejemplo 20

La empresa OMGA es una empresa metalmecánica que cuenta con dos estaciones de trabajo en serie, eso quiere decir que las órdenes de trabajo tienen que pasar por la estación de trabajo 1 (torno CNC, control numérico) y después por la estación de trabajo 2 (fresadoras). En la tabla 39 se presentan las órdenes de trabajo y los tiempos de procesamiento.

**Tabla 39.** Datos de ejercicio Johnson ejemplo 20

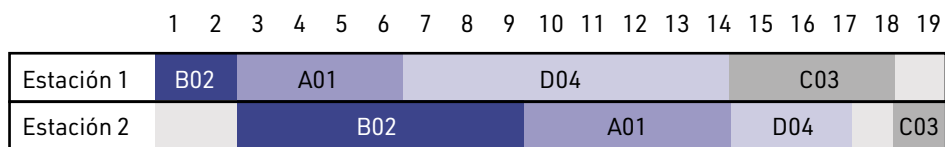
Orden de trabajo	Estación 1 (tiempo de procesamiento)	Estación 2 (tiempo de procesamiento)
A01	4	5
B02	2	7
C03	4	1
D04	8	3

Fuente: elaboración propia.

82

La secuencia de órdenes de trabajo sería la manera: B02-A01-D04-C03, y el diagrama de Gantt de la secuencia se presenta en la figura 15.

**Figura 15.** Diagrama de Gantt de la programación de órdenes de trabajo



□ Tiempo ocioso

Fuente: elaboración propia.

El tiempo para terminar las órdenes de trabajo es de 19 horas y el tiempo de ocio para la estación 1 es de 1 hora y para la estación 2 es de 3 horas.

## Taller de ejercicios

### Ejercicio 1

Una empresa metalmecánica debe realizar la secuencia de los trabajos de la semana 50 en la siguiente línea de máquinas en serie. Utilice el modelo de Johnson para secuenciar las órdenes de producción (OP) y realice el diagrama de Gantt informando el tiempo de procesamiento y de ocio.

MAQ	OP 01	OP 02	OP 03	OP 04
Torno	8 horas	5 horas	6 horas	7 horas
Fresa	2 horas	4 horas	1 hora	3 horas

### Ejercicio 2

En OMGA, una fábrica metalmecánica, se utiliza un torno CNC (control numérico) para mecanizar ciertos productos. Es necesario programar el procesamiento de los siguientes pedidos en la máquina, a continuación, se presentan los tiempos de procesamiento y las fechas de vencimiento de las órdenes de pedido.

Pedido	Tiempo de procesamiento en horas	Fecha de vencimiento en horas
A1	8	12
B2	3	7
C3	5	18
D4	9	10
E5	7	15

83

Por medio de las reglas de secuenciación, determine cuál es la mejor secuencia de operaciones según la menor cantidad de tiempo de retraso y de trabajos en el sistema.

## Discusión y recomendaciones

Es interesante hacer notar que mediante estos sistemas de gestión es posible coordinar conjuntamente las actividades de las distintas áreas de las empresas, lo que está de acuerdo con una concepción sistémica de estas y es la mejor forma de conseguir beneficios sustanciales de la producción.

En este sentido, los sistemas de gestión son de interés para las organizaciones desde sus diferentes áreas, por ejemplo, un departamento de compras se ve beneficiado del plan de materiales, tiempos de suministros externos e informes de acción que implican ajustes en pedidos externos, para la planeación de material a través de la lista de materiales; asimismo, para el área financiera se vuelve importante conocer los niveles de *stock* de seguridad o los aspectos económicos derivados de las posibles

técnicas de dimensionado de lotes; o para el área de contabilidad y sistemas de información, resulta útil contar con apoyo en la tarea de suministrar la información necesaria para el desarrollo del proceso de explosión de necesidades.

Este libro se propuso ampliar las definiciones de los sistemas de gestión y, mediante el desarrollo de ejercicios, aportar una visión más completa de soluciones para distintas problemáticas de las organizaciones. No obstante, el presente estudio debe complementarse con una revisión asociada al desarrollo de proyectos logísticos y financieros que fortalezcan la toma de decisiones.

## Conclusiones

Todas las empresas, sin importar su naturaleza, comparten el mismo objetivo: ser rentables en sus operaciones, en este sentido, existen tres elementos básicos fundamentales para cumplir con este propósito, a saber, el servicio al cliente, la inversión de inventarios y la productividad del proceso. Balancear los diferentes recursos organizacionales, como mano de obra, maquinaria, materia prima, insumos, entre otros, permite a las empresas sobrevivir, garantizar una rentabilidad operativa y generar valor frente a los competidores.

Asimismo, integrar los conocimientos, técnicas y recursos para lograr una adecuada planeación y control de la producción es una de las tendencias que están y permanecerán vigentes en los entornos organizacionales. Dicha planeación de la producción debe ser realista y estar basada en información exacta y controles adecuados, que permitan una eficiente utilización de los recursos.

# Referencias

- [1] R. Jacobs, *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*, 15ª ed., Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2019.
- [2] J. Heizer, *Dirección de la producción y de las operaciones*, 8ª ed., Madrid: Pearson, 2007.
- [3] J. Heizer, *Principio de la administración de las operaciones*, 7ª ed., Ciudad de México: Prentice Hall, 2009.
- [4] D. Sipper, *Planeación y control de la producción*, Ciudad de México: McGraw Hill, 1998.
- [5] P. Hernández-Marchante, *Sistema de control y gestión de la eficiencia de una recantadora en una línea de producción*, tesis de grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III, Madrid, 2015.
- [6] M. del R. Demuner-Flores. (2017). *Cuaderno de ejercicios, Métodos de asignación de costos y participación de los costos en el presupuesto. Unidad de aprendizaje: Simulación de costos y presupuestos. Clave L30142*. [En línea]. Disponible en <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/69961>
- [7] E. Goldratt, *La meta. Un proceso de mejora continua*, 3ª ed., Buenos Aires: Distal SRL, 2011.
- [8] D. Kalenatic, *Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras*, 1ª ed., Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1994.
- [9] M. Rajadell, *Lean Manufacturing la evidencia de una necesidad*, 1ª ed., Madrid: Díaz de Santos, 2010.
- [10] S. Narasimhan, *Planeación de la producción y control de inventarios*, 2ª ed., Ciudad de México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1996.



# Sobre los autores

## Oscar Mauricio Gelves Alarcón

Ingeniero industrial por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Ingeniería de Dirección industrial por la Universidad de Buenos Aires. Docente universitario en las áreas de producción, investigación de operaciones y logística. Tiene experiencia en el sector real como coordinador de planeación, logística y producción en diferentes empresas colombianas y argentinas.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-775X>

Correo electrónico: [oscar.gelves@unimilitar.edu.co](mailto:oscar.gelves@unimilitar.edu.co)

87

## Elisa del Carmen Navarro Romero

Ingeniera industrial por la Universidad del Norte. Magíster en Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión Organizacional por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de pregrado, tiempo completo de la Universidad Santo Tomás. Docente de la Maestría en Gerencia de proyectos de la Universidad Militar Nueva Granada. Tiene experiencia en empresas del sector real, con cargos asociados a los procesos de mejoramiento, presupuesto, aseguramiento de la calidad y logística.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0255-095X>

Correo electrónico: [elisanaVARRO@usantotomas.edu.co](mailto:elisanaVARRO@usantotomas.edu.co)



Esta obra se editó en Ediciones  
USTA. Se usó papel propalcote  
de 250 gramos para la carátula y  
papel bond de 60 gramos para las  
páginas internas. Tipografías de la  
familia Fira Sans y Share Tech.

2021

# Modular

La gestión de la producción es fundamental para la formación en ingeniería industrial. En ese sentido, este libro propone un acercamiento teórico y práctico a temas como la planeación de la producción, el cálculo y utilización de técnicas de pronósticos de demanda con métodos cuantitativos, entre otros, con el ánimo de que los estudiantes de ingeniería apliquen estos conocimientos en su quehacer profesional.

