

# Programación y control para sistemas productivos y de servicios

Gisela Patricia Monsalve Fonnegra



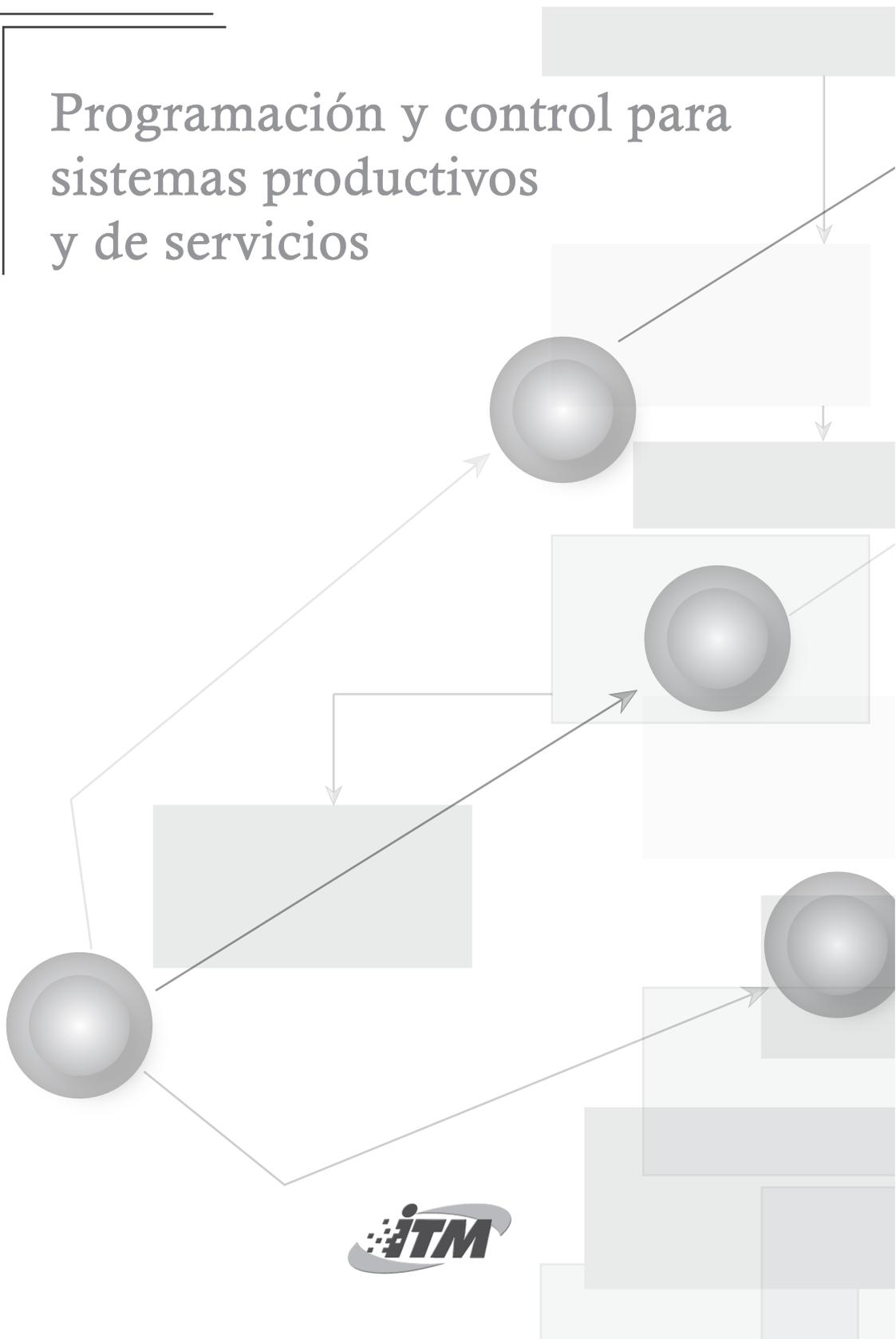
40%



$$EOQ = \sqrt{\frac{2DC_0}{C_c} \left( \frac{r}{r-d} \right)}$$

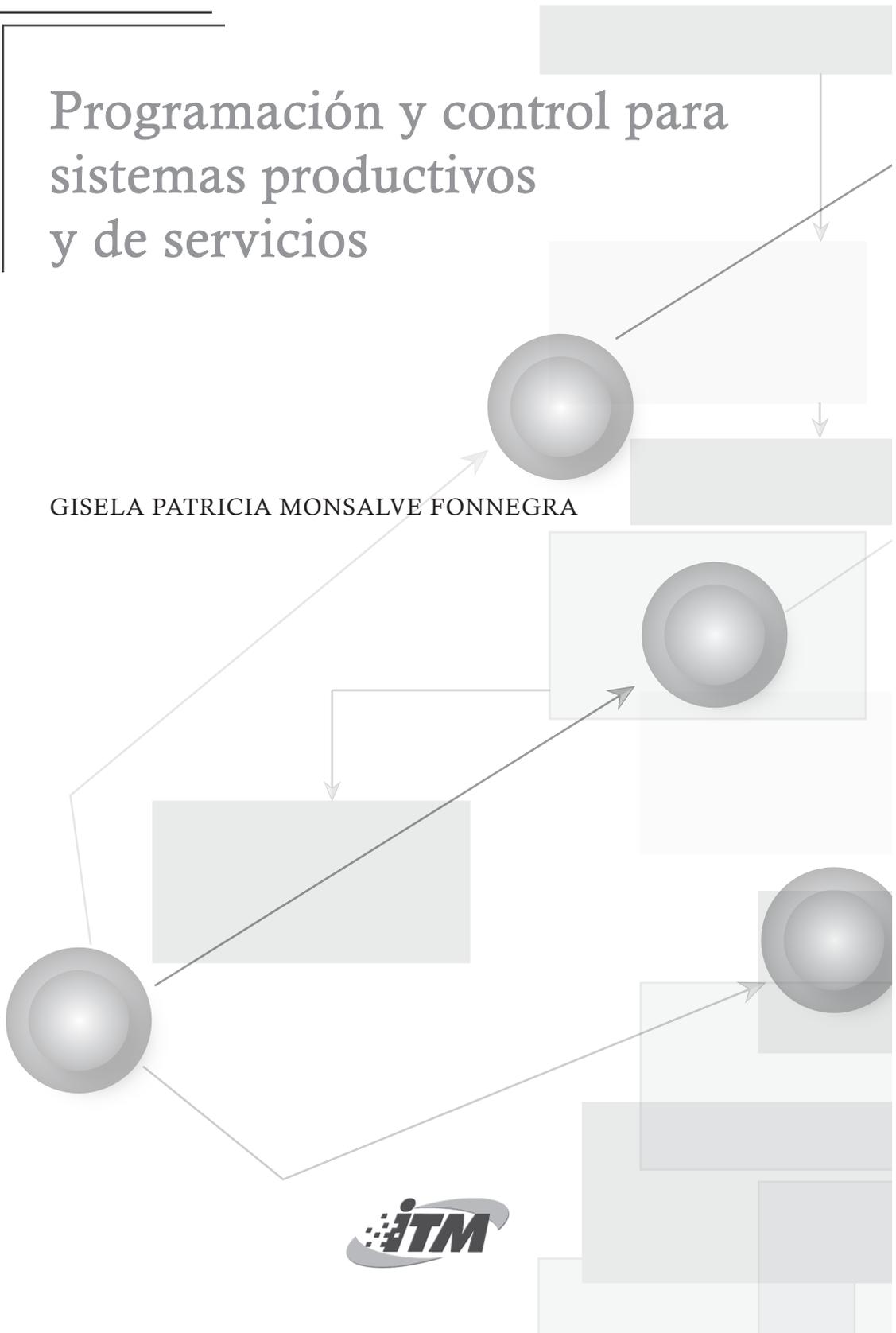
FONDO EDITORIAL ITM

# Programación y control para sistemas productivos y de servicios



# Programación y control para sistemas productivos y de servicios

GISELA PATRICIA MONSALVE FONNEGRA



Monsalve Fonnegra, Gisela Patricia  
Programación y control para sistemas productivos y de servicios / Gisela Patricia Monsalve Fonnegra. -  
Medellín : Instituto Tecnológico Metropolitano, 2019  
188 p. – (Textos Académicos)

ISBN 978-958-5414-81-5

1. Programación de la producción 2. Control de la producción I. Tít. II Serie

658.5 SCDD 21 ed.

Catalogación en la publicación - Biblioteca ITM

Programación y control para sistemas productivos y de servicios

© Instituto Tecnológico Metropolitano

1ra. edición: mayo 2019

ISBN: 978-958-5414-81-5

<https://doi.org/10.22430/9789585414815>

Publicación electrónica para consulta gratuita

Hechos todos los depósitos legales

AUTORA

Gisela Patricia Monsalve Fonnegra, MSc.

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9831-5788>

DIRECTORA EDITORIAL

Silvia Inés Jiménez Gómez

COMITÉ EDITORIAL

Jaime Andrés Cano Salazar, PhD.

Jorge Iván Brand Ortiz, PhD.

Silvia Inés Jiménez Gómez, MSc.

Eduard Emiro Rodríguez Ramírez, MSc.

Viviana Díaz, Esp.

CORRECTORA DE TEXTOS

Lila María Cortés Fonnegra

ASISTENTE EDITORIAL

Viviana Díaz

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Alfonso Tobón Botero

Jorge David Garcés

TRADUCCIÓN DE RESEÑA

Agencia de Traducciones ITM

Mario Palacio Pulgarín

Editado en Medellín, Colombia

Sello editorial Fondo Editorial ITM

Instituto Tecnológico Metropolitano

Calle 73 No. 76A 354

Tel.: (574) 440 5100 Ext. 5197 - 5382

[www.itm.edu.co](http://www.itm.edu.co)

[fondoeditorial@itm.edu.co](mailto:fondoeditorial@itm.edu.co)

Medellín – Colombia

Las opiniones expresadas en el presente texto no representan la posición oficial del ITM, por lo tanto, son responsabilidad del autor quien es igualmente responsable de las citaciones realizadas y de la originalidad de su obra. En consecuencia, el ITM no será responsable ante terceros por el contenido técnico o ideológico expresado en el texto, ni asume responsabilidad alguna por las infracciones a las normas de propiedad intelectual.

# Contenido

<b>Prólogo</b>	<b>8</b>
<b>1 Sistemas de producción</b>	<b>12</b>
1.1 Conceptualización de los sistemas de producción . . . . .	13
1.2 Diseño de un sistema de producción . . . . .	17
1.3 Clasificación de los sistemas de producción de acuerdo con el tipo de flujo de proceso y material . . . . .	19
1.3.1 Producción por proceso, función o departamentos . . . . .	19
1.3.2 Producción en línea, por producto o en cadena . . . . .	20
1.3.3 Sistema de manufactura ajustada, flexible, modular o por celdas de manufactura . . . . .	22
1.3.4 Sistema de producción por proyecto o por posición fija . . . . .	25
1.3.5 Comparación entre sistemas productivos . . . . .	27
1.4 Clasificación de los sistemas de producción de acuerdo con el volumen de producción . . . . .	28
1.4.1 Producción bajo pedido . . . . .	28
1.4.2 Producción por partidas o lotes . . . . .	29
1.4.3 Producción continua . . . . .	29
1.5 Conclusiones . . . . .	30
<b>2 Programación de la producción</b>	<b>31</b>
2.1 Balance de líneas de producción o de estaciones de trabajo . . . . .	32
2.1.1 Consideraciones para equilibrar operaciones . . . . .	33
2.1.2 Método de secuencia para balance de líneas o cadenas de producción . . . . .	33

2.1.3	Método de Hoffman para balance de líneas . . . . .	37
2.2	Secuenciación de órdenes de trabajo o reglas de prioridades . . . . .	43
2.2.1	Descripción de las reglas de secuenciación . . . . .	45
2.2.2	Ejemplos de aplicación reglas de secuenciación . . . . .	48
2.3	Regla de Johnson . . . . .	53
2.3.1	Ejemplo de aplicación regla de Johnson . . . . .	54
2.4	Programación de la producción para sistemas productivos en línea . .	55
2.4.1	Programación por el método EOQ . . . . .	57
2.4.2	Programación por el método de agotamiento . . . . .	57
	Ejercicios resueltos . . . . .	59
	Ejercicios propuestos . . . . .	77
<b>3</b>	<b>Programación de operaciones de servicio</b>	<b>82</b>
3.1	Generalidades de la programación de operaciones de servicio . . . . .	83
3.1.1	Falsas creencias (falacias) en el desarrollo de las operaciones en las organizaciones de servicio . . . . .	83
3.1.2	Diferencias entre la programación de producción y la programación de servicios . . . . .	84
3.1.3	Tipos de operaciones de servicio . . . . .	86
3.2	Programación de la demanda de los clientes en las operaciones de servicio	86
3.2.1	Programación de operaciones de servicio de cuasi manufactura	87
3.2.2	Programación de operaciones del servicio del cliente como participante . . . . .	92
3.2.3	Programación de operaciones de servicios del cliente como producto . . . . .	104
3.3	El uso de la simulación en la programación de operaciones de servicio	110
	Ejercicios propuestos . . . . .	111
<b>4</b>	<b>Programación por GANTT, CPM Y PERT</b>	<b>114</b>
4.1	Diagrama de Gantt . . . . .	115
4.1.1	Partes del diagrama . . . . .	115
4.1.2	Pasos para la construcción de un diagrama de Gantt . . . . .	116

4.2	Método Critical Path Method CPM . . . . .	116
4.3	Método PERT Project Evaluation and Review Technics . . . . .	116
	Ejercicios resueltos . . . . .	127
	Ejercicios resueltos . . . . .	137
<b>5</b>	<b>Teoría de restricciones</b>	<b>143</b>
5.1	Contextualización . . . . .	144
5.2	Principios básicos de TOC . . . . .	152
5.3	Parámetros fundamentales de TOC . . . . .	152
5.4	Errores en busca del objetivo . . . . .	153
5.5	Claves para aumentar las utilidades . . . . .	153
5.6	Restricciones en TOC . . . . .	153
5.7	Capacidad en TOC . . . . .	154
5.8	Amortiguadores en TOC . . . . .	155
5.9	Los procesos de pensamiento . . . . .	155
5.10	Gestión de proyectos por cadena crítica . . . . .	159
	Ejercicios propuestos . . . . .	164
	Glosario . . . . .	166
	Bibliografía complementaria . . . . .	174

# Prólogo

Se presenta esta obra, entre otros, con el objetivo de dar continuidad a la documentación de tópicos alrededor de la planificación, programación y control de la producción y las operaciones; proceso que inicié con la escritura y publicación del texto *Planificación de operaciones de manufactura y servicios*.

Así como en los procesos de negociación, Mnookin (2010) las partes interesadas deben conocer las características de los diablos con los cuales desean establecer relaciones empresariales, comerciales o familiares exitosas; también, es fundamental el conocimiento de los aspectos relacionados con el ciclo de producción por parte de los profesionales actuales y futuros, alrededor de la ingeniería industrial y afines; no entendería cómo puede un administrador de operaciones enfrentarse a una programación de producción en una empresa compuesta de sistemas de producción mixtos; si no comprende las diferencias entre estos últimos, con seguridad aplicaría un método errado.

El presente texto contiene información importante de conceptos, teorías, técnicas y herramientas de programación y control de la producción de operaciones de manufactura y servicios, haciendo énfasis en la fase operativa o gestión de talleres del ciclo de producción, descrito por Domínguez (1995), continuado por diversos autores y ampliamente utilizado en organizaciones a nivel mundial.

De manera similar al texto *Planificación de operaciones de manufactura y servicios*, se abordan técnicas de índole determinístico y también probabilísticas de tipo heurísticas y metaheurísticas, que son de gran uso en la programación de órdenes de producción por prioridades o la programación de operaciones de servicio, entre otras. Se sugiere, el uso de software de uso libre y licenciado para la solución de ejercicios y casos de aplicación.

De esta manera, en el desarrollo de la obra se prefirió una estructura mixta en la cual el lector apropie el contexto teórico necesario, para luego aprender las técnicas de programación de la producción y las operaciones de servicios más usadas en los negocios.

Así mismo, se tuvo presente darle un enfoque de internacionalización, con el objetivo de que sus lectores y estudiosos puedan insertarse sin mayores dificultades y diferencias en un entorno laboral global; por eso, y de la misma manera que con la obra *Planificación de operaciones de manufactura y servicios*, se realizó la vigilancia tecnológica de su contenido a nivel mundial, encontrándose que los temas principales permanecen vigentes, mejorados a partir del uso de sistemas de información que optimizan el uso de las técnicas. Con este texto no se pretende innovar en técnicas de mínimo uso empresarial, el objeto son los modelos que han sido y seguirán siendo ampliamente probados y utilizados.

Los cinco capítulos, son el resultado de la revisión bibliográfica de textos, artículos, notas de veinte años de carrera docente y documentos públicos disponibles en la literatura científica, alrededor de la ingeniería industrial y afines; los ejemplos propuestos y resueltos están diseñados en su mayoría a partir de mi experiencia profesional en la administración de operaciones de manufactura y servicio.

Detalle temático por capítulo del libro:

**Capítulo 1. Sistemas de producción.** En este capítulo, se presenta una explicación de los sistemas de producción, unificando la terminología usada en la literatura en las últimas décadas y haciendo un esquema relacional de los principales sistemas de producción, sus posibles combinaciones en las empresas del sector industrial y el terciario. Los sistemas de producción simples se enmarcan en un enfoque por proceso y están directamente relacionados con la distribución en planta; los más conocidos a nivel mundial son: por encargo, por lotes, en masa y de flujo continuo; estos, a la vez, dan origen a la clasificación por departamentos, producto, celdas de manufactura y proyectos o posición fija; además de varias combinaciones. Casos de aplicabilidad.

**Capítulo 2. Programación de producción para sistemas continuos y no continuos.** Balance de líneas o estaciones de trabajo. Reglas de prioridades, lotes de producción y agotamiento de la capacidad. Las sencillas reglas de prioridades usadas en las empresas de sectores industriales y de servicios son explicadas en este aparte

de una manera amena y aplicada a casos reales; así mismo, la regla de Johnson para secuenciación de trabajos en dos máquinas o centros de trabajo. Similarmente, se registran dos técnicas para programación de sistemas de producción continuos a saber los lotes económicos de producción EOQ y la técnica de agotamiento. Ejemplos de aplicación, ejercicios propuestos y resueltos.

**Capítulo 3. Programación de operaciones de servicio.** De forma general se hará una explicación de las operaciones de servicio y su clasificación; operaciones de servicio del cliente como producto, como participante y las operaciones de cuasi manufactura. Se mencionan las técnicas estadísticas empleadas usualmente para la programación de este tipo de operaciones. Ejemplos y casos de aplicación, ejercicios propuestos y resueltos.

**Capítulo 4. Programación por técnicas GANTT-CPM y PERT.** Se incorporan estas técnicas porque son usadas en la programación de proyectos y también en la programación de producción; se explica la forma de obtención del tiempo estándar de las actividades de un proyecto o proceso a partir de mediciones de tiempo optimista, normal y pesimista. Se realiza la explicación sencilla de la construcción de una red, el cálculo de las fechas hacia adelante y hacia atrás; así como la estimación de la ruta crítica. Ejemplos de aplicación, ejercicios propuestos y resueltos.

**Capítulo 5. Teoría de restricciones.** Se hace referencia en este capítulo a los principales elementos de la teoría de restricciones (TOC), como una de las teorías empleadas en los últimos años para la programación de producción.

## GLOSARIO

### Aclaraciones

Se mencionan de manera general en el texto, algunas técnicas de investigación de operaciones y simulación empleadas para la programación de sistemas de producción por celdas de manufactura y operaciones de servicio.

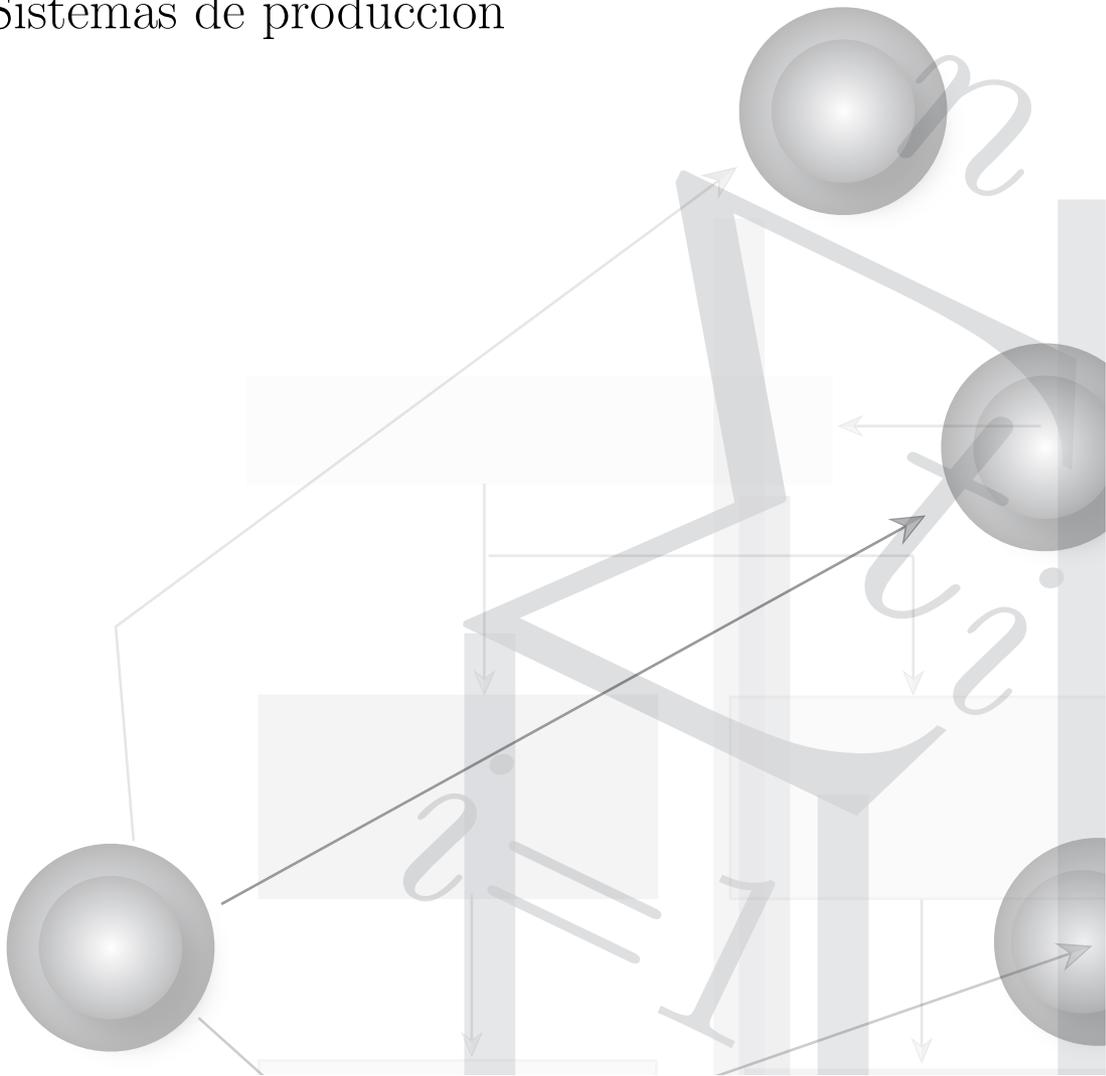
Al final del texto, se adiciona un glosario y acrónimos de términos empleados frecuentemente en el ámbito de la programación de las operaciones y servicios; esto con el objeto de ayudar a una mejor comprensión y aprendizaje de los métodos y teorías descritas, en términos económicos y administrativos. De la misma manera, se

describe inmediatamente después del glosario, un listado de acrónimos usados a lo largo del texto.

Al final de cada capítulo, se referencian software de uso libre y otros licenciados que podrían ser usados para la solución de los ejercicios y técnicas expuestas, para motivar a los estudiantes a continuar con su proceso de enseñanza aprendizaje. De la misma manera, se relacionan las técnicas de optimización matemática para los temas documentados.

# Capítulo 1

## Sistemas de producción



## 1.1 Conceptualización de los sistemas de producción

De acuerdo con algunos escritos, un sistema de producción es la manera en que se ordenan física y metodológicamente los recursos empresariales, teniendo en cuenta un control adecuado del mismo, desde un punto de vista de la distribución de la planta.

Un sistema de producción se inicia con la formulación de un objetivo y la elección de un producto a comercializar, para lo cual se deben tener en cuenta la capacidad y los distintos recursos, ya sean humanos, materiales, financieros u equipos, que contribuirán a la consecución del objetivo inicial (Pinto, 2010). Lo que de acuerdo con Pinto se asemeja a un proceso con estructura de sistema: *entrada-transformación-salida*.

Se podría afirmar que un sistema de producción es un sistema sociotécnico, dado que el funcionamiento de la estructura que llamamos sistema necesita que los recursos técnicos interactúen procedimentalmente con otros elementos blandos de índole social, con el fin de obtener productos de utilidad en una determinada sociedad; así mismo, se puede expresar que la función principal de un sistema de producción es transformar *inputs*, a través de procesos que agregan valor, en *outputs* de interés para la humanidad.

De manera general en las definiciones clásicas, existen cuatro tipos principales de sistemas de producción: por encargo, por lotes, en masa y de flujo continuo; comprendiendo, cada una, operaciones a escala cada vez mayor, dependiendo del aprovechamiento de los recursos, la flexibilidad para responder a los cambios y el trabajo en condiciones de calidad (EAE Business School, 2017). Por eso, el sistema de producción utiliza recursos como materiales, mano de obra, maquinaria y equipo, capital monetario e infraestructura; principalmente para efectuar un cambio.

Otros autores indican que los sistemas de producción están determinados por el tipo de producto que se producirá, por la cantidad, tecnología y equipos que se utilizarán. Chase, Aquilano, Milanés y Jacob (2000) añaden que los sistemas de producción son clasificados de acuerdo con la continuidad y repetitividad del proceso y producto.

Teniendo en cuenta lo anterior, desde un enfoque simple, un sistema de producción -llamado también sistema productivo- es la manera como interactúan entre sí los recursos empresariales (materiales, maquinaria, mano de obra, métodos-procedimientos,

medios logísticos y medios monetarios) de la organización, de tal forma que la disposición física de estos, su combinación y uso determinan el ordenamiento secuencial de las operaciones de transformación y apoyo, para la obtención de productos que serán entregados a los clientes; teniendo en cuenta un control adecuado del mismo.

Los sistemas de producción y la disposición de planta son inseparables, puesto que se determinan biunívocamente; así, las disposiciones que se adoptan en alguno de estos elementos afecta al otro. Por ello, Muther (1970) expresa que: «la distribución en planta implica la ordenación física de los elementos organizacionales».

Esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye los espacios necesarios para el movimiento del material, los trabajadores indirectos y todas las actividades de almacenamiento y servicios complementarios.

Así mismo, existen los sistemas de producción en un sentido extendido a otros sistemas; es decir, los sistemas logísticos, administrativos, financieros o de soporte, que interactúan entre sí. A estos, se les puede considerar un sistema de producción complejo.

Los sistemas de producción complejos usualmente constan de tres sistemas: sistema de flujo de recursos, sistema de información y sistema de fabricación. El sistema flujo de recursos prepara materiales, máquinas, herramientas y otros elementos que incorpora al sistema. El sistema de información permite el procesamiento de la información para el ciclo de planificación y control durante el proceso de producción; por lo que, Edwards, Ward y Bytheway (1998) determinan que sus principales tareas son recibir, procesar y despachar información. Los sistemas de fabricación integran todos los medios de producción para completar la función de producción o de operaciones.

Empero, la organización o disposición física de los recursos empresariales en una planta física determina en cierta medida los modelos y técnicas para la programación y control de la producción y las operaciones; por ello, se mencionan a continuación, aspectos importantes para su comprensión, como lo son, la clasificación de los procesos de producción, los conceptos relacionados con el tema (remitirse al Glosario) y la categorización posible de los sistemas de producción, con base en el flujo del proceso.

Tabla 1. Clasificación de los procesos de producción

CATEGORÍA	DETALLE	SUBDIVISIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>1. Según el grado de intervención del factor humano en los procesos</b>	Relación trabajo/capital	1.1 Procedimientos manuales	1.1 Las operaciones son ejecutadas totalmente aplicando esfuerzo humano.
		1.2 Procedimientos mecánicos	1.2 Las operaciones son ejecutadas conjuntamente entre factor humano y máquinas.
		1.3 Procedimientos automáticos	1.3 Las operaciones son ejecutadas en su totalidad por máquinas semi-inteligentes controladas numéricamente por ordenador, la intervención humana queda reducida a labores de supervisión o vigilancia.
<b>2. Según el desarrollo temporal o su extensión en el tiempo</b>	Se refiere a la duración del proceso	2.1 Continuos	2.1 El proceso se ejecuta ininterrumpidamente a lo largo del tiempo.
		2.2 Intermitentes	2.2 El proceso se desarrolla cada vez para productos no tipificados; es decir, se presentan interrupciones en el proceso dadas ciertas características especiales del producto.
		2.3 En serie	2.3 El proceso se repite a intervalos regulares para producir en masa lotes de bienes homogéneos.
<b>3. Según la producción obtenida</b>	Es decir, la uniformidad o diversidad de productos generados.	3.1 Simples	3.1 Se obtiene un solo producto de características uniformes y especificaciones técnicas homogéneas. Se trata de un proceso mono-producto.
		3.2 Múltiples	3.2 Se trata de procesos que comparten factores y/o tareas y cuyo resultando es la obtención de diversos productos diferenciados.
<b>4. Según su naturaleza, atendiendo al tipo básico de actividad:</b>	Industrial o de servicios, distinguiendo a su vez en cada uno de ellos diferentes categorías	4.1 Procedimientos industriales	4.1.1 Consisten en combinar (mezclar o integrar) diferentes factores para la obtención de un producto.
		4.1.1 Integración	4.1.2 Consisten en dividir (fraccionar o separar) un insumo para obtener varios productos
		4.1.2 Desintegración	4.1.3 Consisten en la simple transformación de algunas características formales que no alteran los atributos esenciales del elemento sometido al proceso (reparaciones y operaciones de mantenimiento: bienes de equipo, automóviles, electrodomésticos, reformas domésticas).
		4.1.3 Modificación	

Fuente: elaboración del autor

Tabla 1 (continuación)

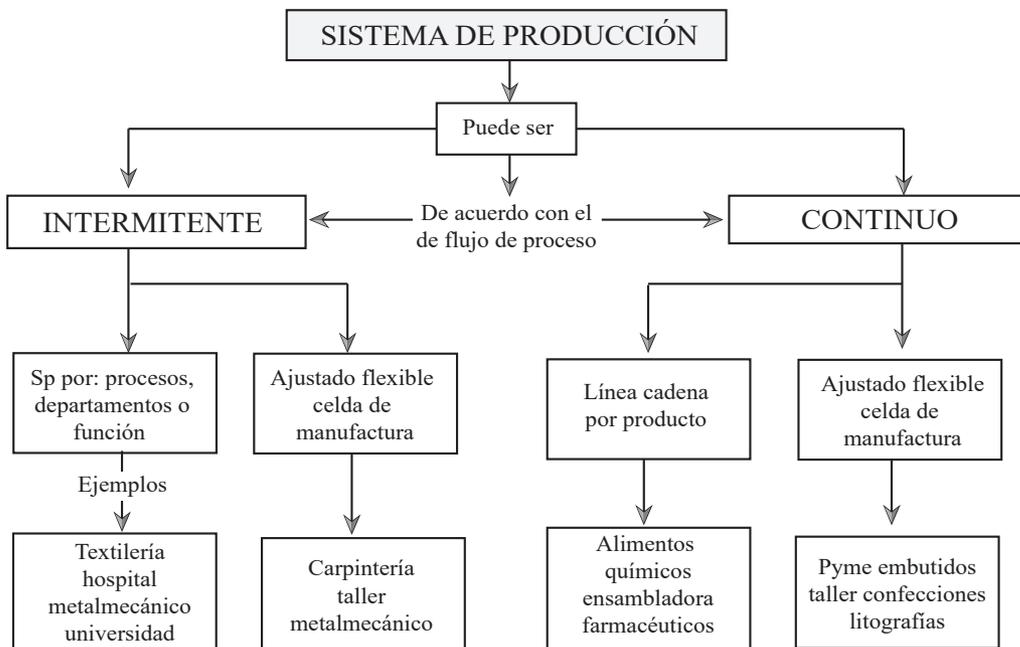
CATEGORÍA	DETALLE	SUBDIVISIÓN	DESCRIPCIÓN
4. Según su naturaleza, atendiendo al tipo básico de actividad:	Industrial o de servicios, distinguiendo a su vez en cada uno de ellos diferentes categorías	4.2 Procedimientos de servicios	4.2.1 Hospital, universidad, agencia de viajes.
		4.2.1 Integración	4.2.2 Comercio, transporte, restaurante.
		4.2.2 Modificación	4.2.3 Consiste en la aplicación o realización de estudios sistemáticos, rigurosos y detallados sobre una realidad concreta, fruto de los cuales se formula un diagnóstico y/o proponen, en su caso, las oportunas alternativas, soluciones o vías de acción (asesorías, consultorías, auditorías, seguros)
		4.2.3 Análisis-síntesis	

Fuente: elaboración del autor

La categoría del proceso productivo a elegir dependerá de características inherentes a la empresa, al producto y su demanda; también obedecerá a factores externos, como por ejemplo una crisis económica, una catástrofe natural, un paro de transporte, etc.

Después de brindar un panorama sobre los procesos de producción, es pertinente proponer una primera categorización general de los sistemas de producción, de acuerdo con el flujo del proceso.

Figura 1. Clasificación sistemas de producción



Fuente: elaboración del autor

## 1.2 Diseño de un sistema de producción

El diseño del sistema productivo implica tener presentes ciertas características de la empresa y atender un conjunto de limitaciones en cuanto a los recursos y a las circunstancias externas a la empresa, que vienen determinadas por su entorno.

Una guía puede ser el tratar de resolver los interrogantes: ¿Cuáles son y cómo conseguir los objetivos? ¿Qué productos/servicios se hacen? ¿cuál será el proceso para llevarlos a cabo? ¿Dónde está la planta productiva? ¿Cuándo se harán los productos/servicios? ¿Cuánto será el costo de producción?

Tabla 2. Los sistemas productivos y sus características

SISTEMA EMPRESARIAL	INPUTS PRINCIPALES	ACTIVIDAD DE TRANSFORMACIÓN	ACONTECIMIENTOS FORTUITOS	OUTPUTS PRINCIPALES
<b>Carrejón</b>	Tractores, maquinaria, trabajadores, tierra, tecnologías de comunicación.	Extracción de material de la mina a cielo abierto.	Leyes de protección al medio ambiente, se agota el material.	Carbón
<b>Sofasa</b>	Acero, pintura, vidrio, trabajadores, directivos, energía, etc.	Ensamblaje de automóviles.	Tecnologías avanzadas de producción, más automóviles incremento en la competencia de marcas.	Automóviles
<b>Hospital</b>	Edificios, quirófanos, medicamentos, profesionales de la salud.	Diagnóstico, atención cirugía, rehabilitación.	Disminución de los pagos por atención médica.	Personas sanas o muertas

Fuente: elaboración del autor

La caracterización y clasificación del sistema productivo reviste gran importancia, por cuanto define las técnicas y métodos a emplear en la gestión de producción; en el proceso investigativo se recopilaron los nombres de algunos autores que, en mayor o menor intensidad, tratan el tema.

Tabla 3. Clasificación de los sistemas productivos

CRITERIO	TIPO DE SISTEMA	AUTORES
<b>Tipo de flujo del proceso</b> <b>Flujo material</b> <b>Tipos para la manufactura</b>	Línea (continuo) Intermitente (por batch) Por proyecto (único o singular)	Schroeder (1992) Díaz (1993) Salvendy (s.a.) Ottina (1988) Velázquez (1995)
<b>Realización del volumen de producción</b>	Producción bajo pedido Producción por partidas o lotes. Producción continua	Arismendy (1991)
<b>Tipo de pedido del cliente</b> <b>Relación con el cliente</b>	Por pedido Para inventario (contra almacén)	Schroeder (1992) Arjona Siria (1979) Dilworth (1989)
<b>Tipos de producción</b>	En masa En línea Por lotes	Maynard (1984)
<b>Tiempo de utilización del equipo productivo</b> <b>Tipo de proceso</b>	-Intermitente o discreto (secuencial o manufacturero) Continuo	Voris (1970) Alford (1972) Arjona (1979) Mallo (s.a.) Dilworth (1989) Ochoa(s.a.)
<b>Número de plantas productivas</b>	Mono-plantas Multiplantas	Arjona(1979)
<b>Respuesta a la demanda</b>	Para existencia Según pedido Montaje según pedido	Ottina (1988)
<b>Modo de fabricación de los productos</b>	Por partes Por proceso	Voris (1970) Ottina (1988)
<b>Condiciones de venta</b>	A medida Sobre catálogo Contra pedido Contra stocks	Ochoa(s.a.)
<b>Repetitividad de la producción</b>	Producción no repetitiva Productos repetitivos o con demanda repetitiva	Ochoa (s.a.)
<b>-Tipo de flujo del proceso</b>	Producción en serie discontinua. Producción en serie continua	Arismendy (1991)
<b>Según el principio de ejecución</b>	Por departamentos	Arismendy (1991)

Fuente: elaboración del autor

Para los objetivos del libro se procederá a describir los sistemas de producción de acuerdo con las siguientes clasificaciones:

### 1.3 Clasificación de los sistemas de producción de acuerdo con el tipo de flujo de proceso y material

#### 1.3.1 Producción por proceso, función o departamentos

Los equipos productivos, la maquinaria, herramientas, puestos de trabajo, factor humano y material, se agrupan de acuerdo con las funciones, actividades, tareas u operaciones comunes a ejecutar en el proceso.

Se constituyen unidades técnicas especializadas en cada tipo diferenciado de función que se ejecute durante el proceso; el producto en proceso se moverá de una dependencia a otra para ser sometido a las transformaciones e incorporar los componentes que lo integran.

Se da en procesos de gran flexibilidad, calidad que, aunque pueda estar presente en algunos procesos por lotes, es típica de procesos intermitentes (empresas textiles, talleres de reparaciones, carpinterías, obras civiles, locerías, metalmecánicas, hospitales, entre otros.)

Se produce en cantidades sensiblemente menores el procedimiento continuo; los productos no están estandarizados -poco tipificados- y la mano de obra es especializada.

Figura 2. Modelo de un sistema productivo por departamentos

Materia prima	Cardado y peinado de fibras	Hilatura	Material de proceso
Limpieza y apertura de fibras	Material en proceso	Engomado	Urdido y tejeduría
	Revisión		
Producto terminado	Tintorería		Material en proceso

Fuente: elaboración del autor

### **Características de este sistema**

- Grandes inventarios de materias primas, producto en proceso y producto terminado
- Se dificulta el control de la calidad por unidades o en pocas cantidades, lo cual representa un porcentaje elevado de reprocesos y no conformidades
- El flujo de material no es en forma constante sino intermitente o irregular
- El *lead time* del producto (tiempo de ciclo) es muy alto, debido a que entre operaciones existen interrupciones y se mueven grandes cantidades de producto en proceso o terminado entre centros de trabajo
- El área requerida para la disposición de la planta es alta
- Excesiva manipulación y transporte de materiales
- Se hace una mejor utilización de la maquinaria, dado que hay disponibilidad de varias máquinas similares en el mismo departamento
- El mantenimiento no es un punto crítico, porque una máquina puede ser sustituida por otra
- Se dificulta el control sobre la producción

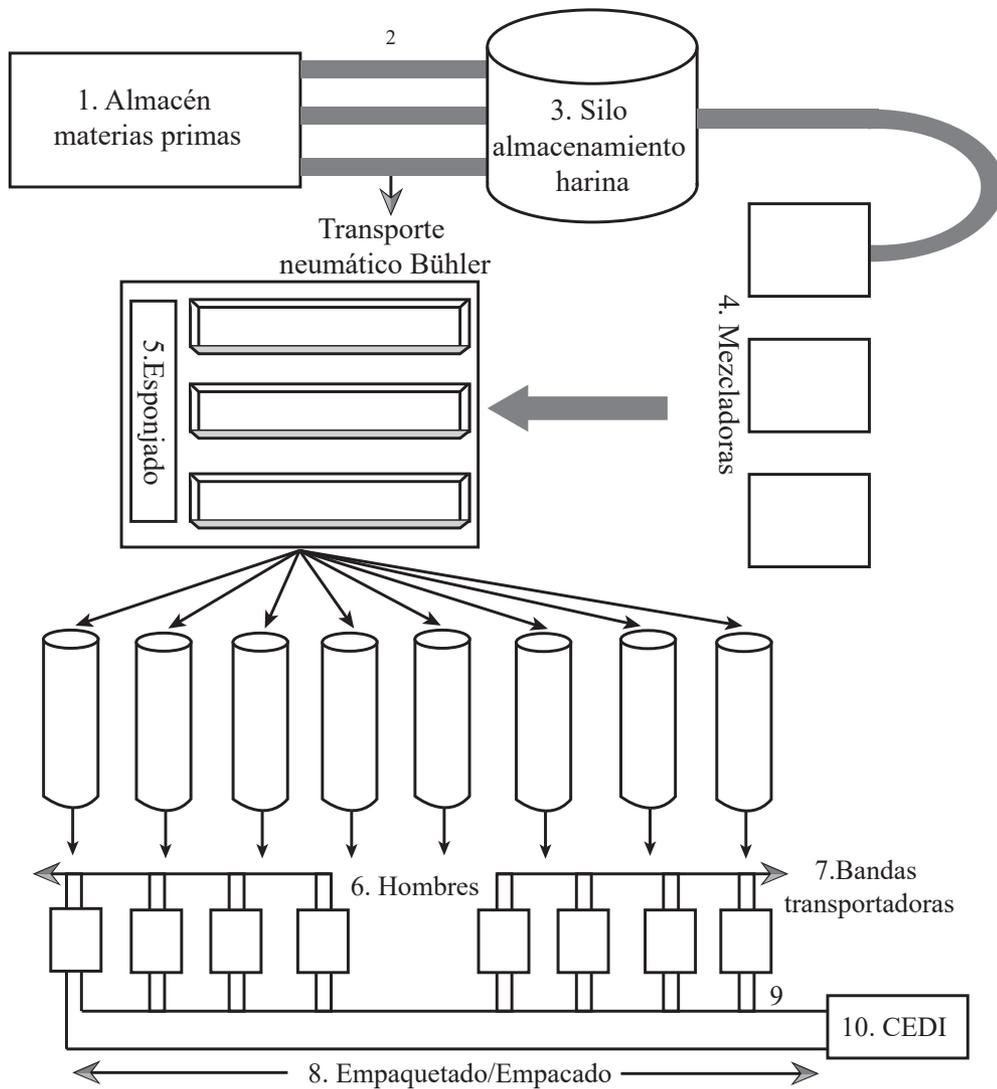
#### **1.3.2 Producción en línea, por producto o en cadena**

En este caso, toda la maquinaria y equipo necesarios para fabricar determinado producto se ordenan secuencialmente con el proceso de fabricación.

Se emplea principalmente en los casos en que existe una elevada demanda de productos estandarizados de una misma familia o referencias similares.

Los ejemplos representativos de este tipo de sistema de producción se encuentran en las empresas que fabrican alimentos, embotelladoras, ensambladoras, las plantas de químicos y fármacos entre muchas más.

Figura 3. Modelo de un sistema productivo lineal



Fuente: elaboración del autor

### Características de este sistema

- El inventario de producto en proceso es prácticamente nulo, dado que este se está moviendo generalmente entre etapas del sistema, con la ayuda de dispositivos como bandas transportadoras, rodillos, rieles u otros sistemas de transporte que permiten calentamiento, enfriamiento, entre otras operaciones
- Se asegura un mejor control de la calidad por unidades o por pequeños lotes

- El flujo de material es en forma constante, el material siempre está en movimiento
- Reducción del *lead time* del producto (tiempo de ciclo) debido a que entre operaciones se mueven unidades o lotes a través de medios mecánicos u automatizados de movimiento
- En algunas ocasiones, se reduce el área ocupada o requerida para la producción por tener un menor número de máquinas y equipos, menores almacenamientos y menos transportes
- Disminuye la manipulación y transporte de materiales.
- Mayor eficiencia en el uso de la mano de obra, mediante una mayor especialización, facilita la capacitación
- Mayor facilidad de control
- El mantenimiento es un punto crítico, por lo cual se hace necesario implementar TPM (Mantenimiento Total Productivo)

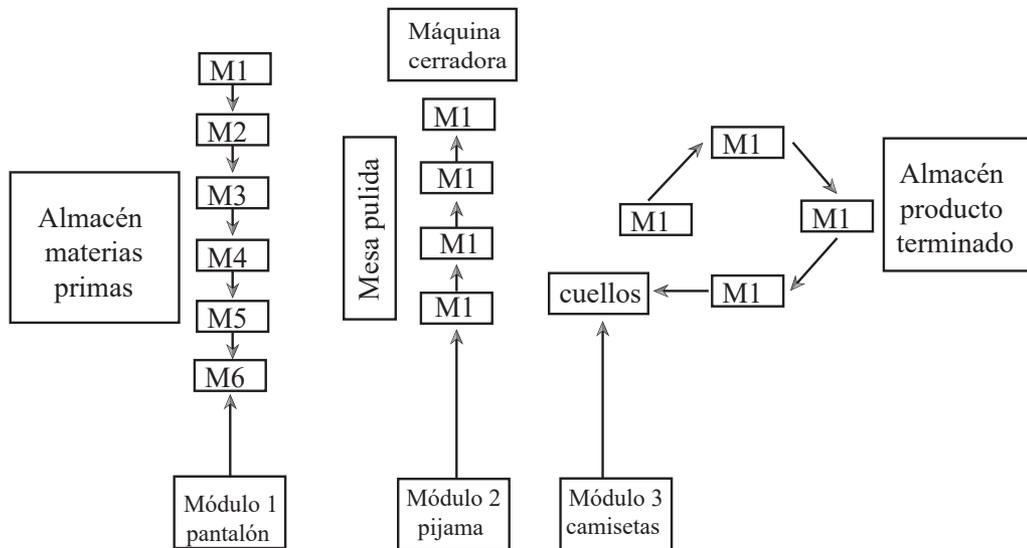
### **1.3.3 Sistema de manufactura ajustada, flexible, modular o por celdas de manufactura**

Abarca la disposición del equipo de operación y de manejo, de manera que sea posible adaptar el sistema de producción a los diferentes cambios de la demanda. Usualmente la disposición de los recursos está en una misma área. Este sistema productivo surge como respuesta a la necesidad de tener plantas físicas más recogidas, para aumentar la productividad, responder a necesidades y cambios repentinos de la demanda y para disminuir costos de producción y no operacionales.

Busca la satisfacción de las necesidades del cliente eliminando operaciones que no agreguen valor al producto (tales como transportes, almacenamientos, demoras, inspecciones) en cada una de las etapas del proceso.

Ejemplos clásicos de estos sistemas son los talleres de confección, carpinterías, bancos, talleres de metalmecánica, empresas de sub-ensambles.

Figura 4. Modelo de un sistema productivo ajustado



Fuente: elaboración del autor

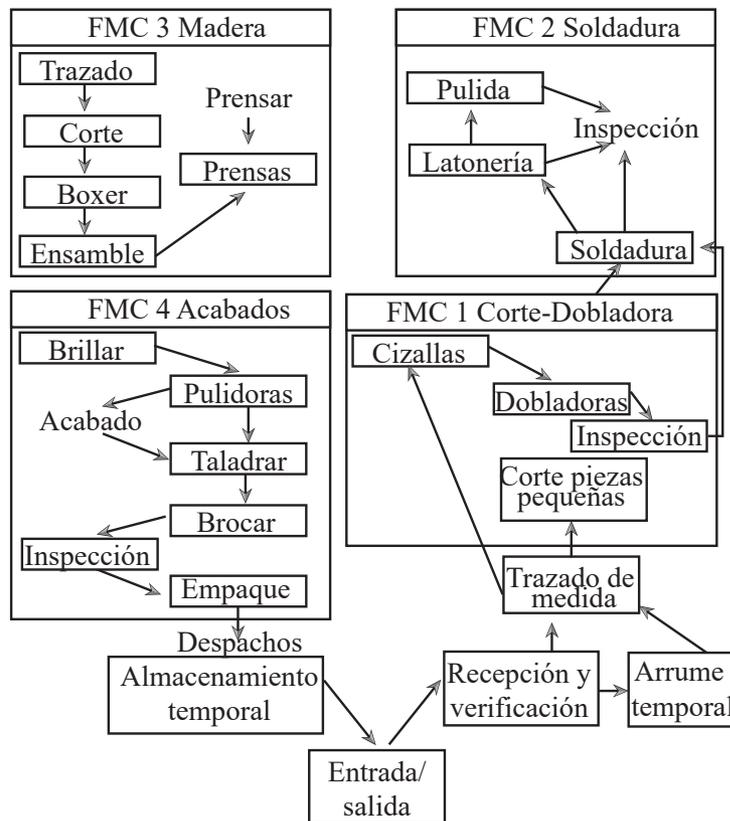
De acuerdo con el tipo de producto, este sistema productivo puede ser continuo o intermitente. Es continuo cuando se producen principalmente alimentos, químicos, fármacos o productos similares a los elaborados en el sistema lineal; sin embargo, en menor volumen. Intermitentes, como en las empresas metalmecánicas, carpinterías o talleres de reparación y similar al sistema productivo por departamentos y también en menor volumen.

### Características de este sistema

- Bajos inventarios de materias primas, producto en proceso y producto terminado
- Se asegura un mejor control de la calidad por unidades o por pequeños lotes
- Hay descentralización de la calidad
- Mejor utilización de la maquinaria
- El flujo de material puede darse en forma constante o intermitente, dependiendo del tipo de producto a fabricar; no obstante, en este sistema se busca eliminar las interrupciones al máximo, así como los desplazamientos innecesarios
- Reducción del *lead time* del producto (tiempo de ciclo) debido a que, entre operaciones, los transportes son pocos o la distancia recorrida es mínima
- Disminuye la manipulación y transporte de materiales

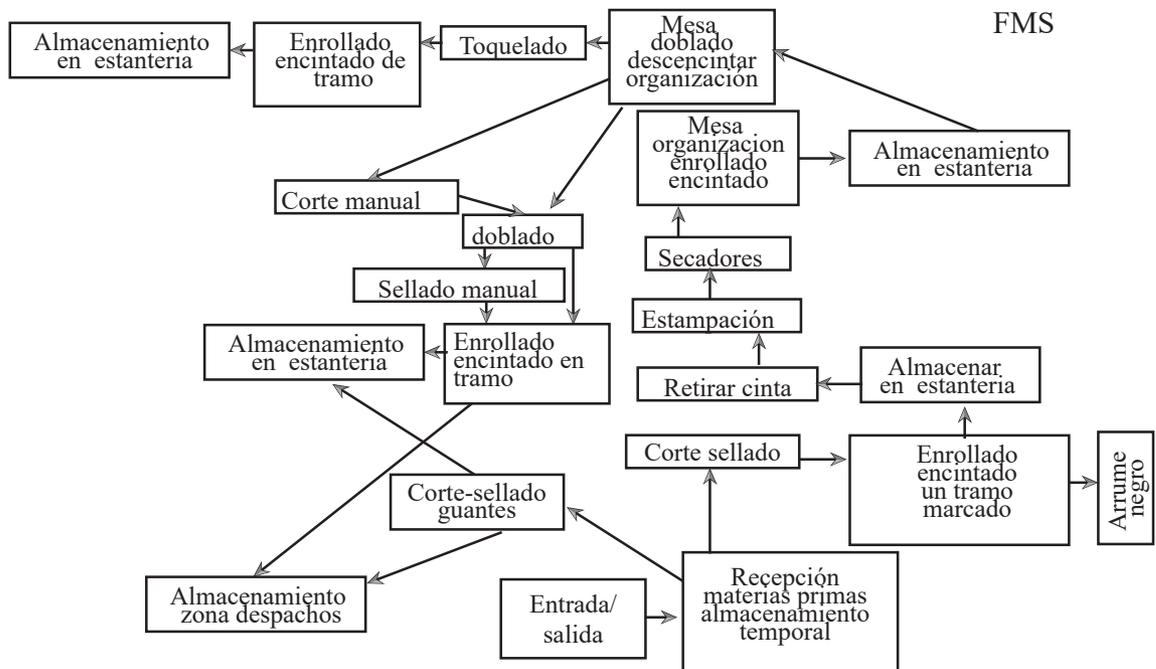
- Mayor eficiencia en el uso de la mano de obra, utilización de personal polivalente que reduce el impacto de las curvas de aprendizaje y los índices de ausentismo
- Mayor facilidad de control
- El mantenimiento es un punto crítico, por lo cual se hace necesario implementar TPM (Mantenimiento Total Productivo)
- Alto grado de flexibilidad en cantidades de producción, variedad en el tamaño del lote a producir
- Mejor oportunidad en el tiempo de entrega al cliente
- Mayor uniformidad en el trabajo, en el esfuerzo y habilidad esperada en el operario
- Mayor nivel de motivación y empoderamiento del personal
- Se fomenta el trabajo en equipo

Figura 5. Sistema de producción flexible intermitente



Fuente: elaboración del autor

Figura 6. Sistema de producción flexible continuo



Fuente: elaboración del autor

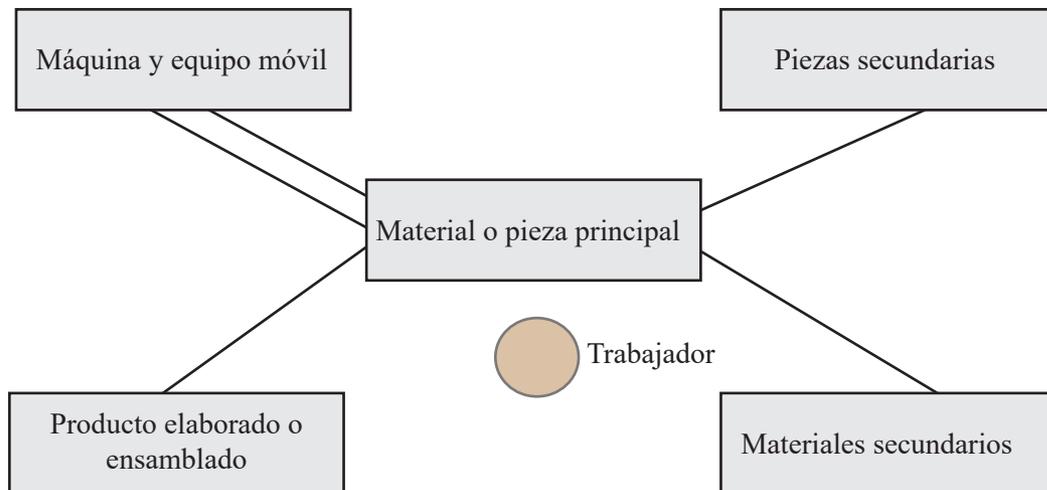
### 1.3.4 Sistema de producción por proyecto o por posición fija

El futuro producto permanece fijo en un espacio físico determinado, debido a ciertas particularidades en cuanto a su volumen, su peso o su modo de obtención.

Ello hace que sean los equipos, la mano de obra, los materiales, los suministros y demás servicios auxiliares los que se desplacen, hasta el punto donde se encuentra o dónde surgirá lo que será el futuro producto, y sobre él se desarrollen las distintas fases u operaciones necesarias.

Esta disposición también tiene su correspondencia con la categoría de procesos intermitentes por encargo o pedido; la construcción naval, aeronáutica, obras de ingeniería civil, la construcción tradicional, algunas formas de artesanía, los astilleros, los cines al aire libre, construcción de puertos, alta costura y trajes sobre medida son ejemplos de este tipo de sistema.

Figura 7. Modelo de un sistema productivo por posición fija



Fuente: elaboración del autor

### Características de este sistema

- Alto aprovechamiento de la especialización del factor humano, lo cual posibilita asignar tareas específicas generando satisfacción en quien lo realiza; además de un distendido y cordial ambiente de trabajo
- La gran flexibilidad para realizar cambios en la programación y en el diseño del producto
- Las interrupciones en alguna operación o fase del proyecto no han de detener necesariamente todo el proceso
- Es posible alterar la secuencia de operaciones sin que afecte al proceso
- El principal inconveniente proviene del hecho de tener que desplazar materiales y equipos, lo que puede suponer, además de problemas de coordinación temporal, un alto costo

### **1.3.5 Comparación entre sistemas productivos**

#### **Entre sistemas en cadena y por función**

##### **Ventajas del sistema en cadena**

- Simplifica el manejo de materiales
- Reduce el tiempo de material en proceso
- Uso más efectivo de la mano de obra, es más económica y fácil de entrenar
- Mayor facilidad de control de la producción
- Reduce necesidad de espacio, no requiere pasillos auxiliares
- Se pueden producir grandes cantidades de producto

##### **Ventajas del sistema funcional**

- Mayor utilización de la maquinaria
- Se adapta a la demanda intermitente permitiendo variación en los volúmenes de producción
- Mayor motivación de los trabajadores
- Es fácil mantener la continuidad aun en escasez de personal o materiales
- Se pueden producir grandes cantidades de producto

#### **Entre sistemas en cadena y posición fija**

##### **Ventajas del sistema en cadena**

- Reduce el movimiento de piezas hacia el punto de montaje
- Disminuye la cantidad de material en proceso, permitiendo reducir el tiempo de producción
- Mano de obra barata y más especialización
- Supervisión más fácil

- Reducción de movimientos del personal y el material

### **Ventajas de la distribución por punto fijo**

- Reduce el transporte de la pieza mayor a pesar de que se incrementa la cantidad de piezas a trasladar al punto de montaje
- Permite que operarios altamente calificados ejecuten su trabajo en un punto y sobre ellos recae la responsabilidad de la calidad del producto
- Permite cambios frecuentes en el diseño del producto y en la secuencia de ejecución
- Es más flexible al no requerir una distribución en planta costosa, ni precauciones contra interrupciones de producción

## **1.4 Clasificación de los sistemas de producción de acuerdo con el volumen de producción**

Hay 8 tipos de producción que se pueden agrupar en tres apartados, según las cantidades que implique la fabricación.

### **1.4.1 Producción bajo pedido**

En este sistema se fabrican productos según exigencias de requerimientos especiales. Las cantidades generalmente son reducidas; habitualmente se trata de uno o varios productos (productos terminados, piezas, ensambles, sub ensambles) y, en general, se refiere a proyectos especiales, modelos, prototipos, maquinaria o equipos diferenciados para llevar a cabo funciones específicas, piezas o montajes para la reposición de la maquinaria existente, grandes transformadores y motores, calderas, equipos de procesos, equipo electrónico especial, aeronaves, embarcaciones de gran calado; entre otras.

Se pueden definir tres tipos de producción bajo pedido, según la regularidad de la fabricación:

- Un reducido número de productos que solo se fabrican una vez

- Un reducido número de productos que se fabrican en forma intermitente, cuando se presenta la necesidad
- Un reducido número de productos que se fabrican periódicamente según un intervalo de tiempo dado

#### **1.4.2 Producción por partidas o lotes**

La producción en lotes consiste en la fabricación de un número de artículos idénticos, ya sea para satisfacer un pedido específico o para cubrir una demanda continua. Al finalizar la producción de una tanda, la fábrica y el equipo quedan disponibles para la fabricación de otros productos similares; en la producción en lotes, también se pueden distinguir tres tipos:

- Un lote que se produce una sola vez.
- Un lote que se produce repetidamente según intervalos irregulares, cuando se presenta la necesidad.
- Un lote que se produce periódicamente, a intervalos dados, para satisfacer una demanda constante.

#### **1.4.3 Producción continua**

Las industrias de procesos continuos son de fabricación especializada, con equipos a pleno rendimiento de artículos idénticos: generalmente, la producción continua implica grandes cantidades de productos, así como una demanda elevada. Mientras en la producción bajo pedido, la producción continua solo se justifica si su tasa está respaldada por el mercado. Se distinguen dos clases de producción continua:

Producción en serie

Producción en cadena

La diferencia entre las dos categorías radica en que, en la primera, regularmente se cambia de lote de producción; y en la segunda, se produce el mismo artículo repetidamente a perpetuidad (la producción no se detiene).

## 1.5 Conclusiones

Las operaciones de fabricación y tratamientos complementarios especiales, generalmente requieren maquinaria pesada que no se mueve con facilidad, por lo tanto, la tendencia es a mover el material a través de ellas, por eso la distribución por posición fija o proyectos rara vez se da para este tipo de operaciones, excepto cuando son pocas piezas y las máquinas a mover son livianas. En el caso contrario, se prefiere los montajes para sistemas en línea.

En las operaciones de montaje generalmente se emplean herramientas de mano y equipo móvil con facilidad de traslado, por lo que se requiere una manipulación ágil y eficaz, razón por la cual la aplicación de los sistemas de producción por proceso es reducida y se prefieren los por celdas de manufactura o en línea.

Para fabricación en general y tratamientos complementarios al proceso, se usan los sistemas de producción en cadena y funcionales, cada uno de los cuales tiene ventajas y desventajas excluyentes.

Para montajes especiales se emplean usualmente los sistemas de producción por proyecto o posición fija, y el por celdas de manufactura; así mismo, para los montajes generales se emplean con mayor frecuencia los sistemas de producción en cadena y el por celdas de manufactura.

Existen varias dimensiones en las operaciones enfocadas; enfoque en el producto, tipo de proceso (proyecto, lote, línea o continuo), volumen de ventas, fabricar para inventario o sobre pedido y nuevos productos y productos maduros.

## Bibliografía complementaria

- Aguilera, C. I. (2000). Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones. *Estudios Gerenciales*, (77), 53-69. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/212/21207704.pdf>
- Alarcón, F., Alemany, M. d., & Rodríguez, R. (2008). *Libro de prácticas de gestión de sistemas avanzados de fabricación*. México: Limusa.
- Álvarez, M. A. (19 de noviembre de 2003). *Lenguaje de programación de propósito general, orientado a objetos, que también puede utilizarse para el desarrollo web*. Recuperado de <https://desarrolloweb.com/articulos/1325.php>
- Arnoletto, E. J. (2000). *Administración de la producción como ventaja competitiva*. Malaga: Eumed.net.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro* (5ta ed.). (C. Mendoza Barraza, & M. J. Herrero Díaz, Trads.) México: Pearson Educación.
- Bañegil, T. M., Chamorro, A., Miranda, F. J., & Rubio, S. (2005). *Manual de dirección de operaciones*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
- Bello, C. (2006). *Manual de Producción. Aplicado a las Pyme*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Birrell R., M. (2004). *Simplicidad inherente lo introducirá en los fundamentos de la Teoría de Restricciones*. LibrosEnRed. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=MIHFYMuUQgUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=MIHFYMuUQgUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Catán, J. M., Giménez, C., & Guitart, L. (2007). *Dirección de la producción: casos y aplicaciones* (Vol. 332 de Textos docents). Barcelona: Edicions Universitat Barcelona.

- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción*. México: Pearson Educación.
- Chase, R. B., Aquilano, N. J., & Jacobs, R. F. (2000). *Administración de producción y operaciones: Manufacturera y servicios* (8va ed.). Mc Graw Hill.
- Chase, R. B., Jacobs, F. , R., & Aquilano, N. J. (2005). *Administración de la producción y operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento*. México: Prentice - Hall.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones: producción y cadena de suministros*. México: McGraw Hill.
- Chase, R., Jacobs, F. R., Aquilano, N. J., & Yescas Milanés, J. (2009). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva* (12da ed.). (P. Mascaró Sacristán, M. G. Meza y Staines, & J. Rebolledo Palacios, Trads.) México.
- Chiavenato, I. (2007). *Introducción a la teoría general de la administración* (7a ed.). (C. L. de la Fuente Chávez , & E. L. Montaña Serrano, Trads.) México: McGraw-Hill Interamericana.
- Collier, D. A., & Evans, J. R. (2009). *Administración de operaciones: bienes, servicios y cadenas de valor*. México: Cengage Learning.
- Cruelles, A. J. (2012). *Stock, procesos y dirección de operaciones: conoce y gestiona tu fábrica*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- Cuatrecasas, L. (2012). *Organización de la producción y dirección de operaciones: sistemas actuales de gestión eficiente y competitiva*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Dauzère-Péres, S., & Lasserre, J. B. (1012). *An Integrated Approach in Production Planning and Scheduling* (Vol. 411). Springer Science & Business Media.

- Delgado, J., & Marín, F. (2000). *Evolución en los sistemas de gestión empresarial*. Dialnet - Economía industrial, (331), 51-58. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/14012>
- Domínguez Machuca, J. A., Alvarez Gil, M. J., Domínguez Machuca, M. A., García González, S., & Ruiz Jiménez, A. (1995). *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Editorial Mc-Graw Hill, Madrid, España.
- EAE Business School. (19 de diciembre de 2017). Recuperado de *Tipos de sistemas de producción industrial y sus características*: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/tipos-de-sistemas-de-produccion-industrial-y-sus-caracteristicas/>
- Edwards, C., Ward, J., & Bytheway, A. (1998). *Fundamentos de sistemas de información* (2a ed.). España: Prentice Hall.
- Eppen, G. D. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa: construcción de modelos para la toma de decisiones con hojas de cálculo electrónicas* (5ta ed.). (Á. C. González Ruiz, & G. Sánchez García, Trads.) México: Pearson Educación.
- Fernández, E., Fernández, M., & Avella, L. (2006). *Estrategia de Producción*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Ferrell, O. C., & Hartline, M. D. (2012). *Estrategia de marketing* (5a ed.). (M. E. Treviño Rosales, & M. d. Carril Villarreal, Trads.) México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Gaither, N., & Frazier, G. (2000). *Administración de producción y operaciones* (8va ed.). International Thomson Editores.
- García, A. (2005). *El control automático en la industria* (Vol. 48). Cuenca: Universidad de Castilla La Mancha.
- Gido, J., & Clements, J. P. (2012). *Administración exitosa de proyectos* (5ta ed.). (L. Peralta Rosales, & P. Mascaró Sacristán, Trads.) México: Cengage Learning Editores.

- Giménez, C., & Guitart, L. (2007). Dirección de la producción: casos y aplicaciones. *Textos Docentes*, 332.
- Goldratt, E. M. (1994). *El síndrome del pajar*. Díaz de Santos.
- Goldratt, E. M. (2007). *Cadena crítica*. Buenos Aires: Ediciones Granica S.A.
- Goldratt, E. M. (2008). *No es cuestión de suerte: Segunda parte de la Meta*. Buenos Aires: Ediciones Granica S.A.
- Goldratt, E. M. (2009). *La cerrera: en busca de las ventajas competitivas*. Buenos Aires: Ediciones Granica S.A.
- Goldratt, E. M. (2010). *La Meta: un proceso de mejora continua* (3ra ed.). Buenos Aires: Ediciones Granica S.A.
- González, J. A., Ortegón, K., & Rivera, L. (2003). Desarrollo de una metodología de implementación de los conceptos de TOC (teoría de restricciones), para empresas colombianas. *Estudios Gerenciales*, 19(87). Recuperado de [http://www.academia.edu/4812230/Desarrollo\\_de\\_una\\_metodolog%C3%ADa\\_de\\_implementaci%C3%B3n\\_de\\_los\\_conceptos\\_de\\_TOC\\_Teor%C3%ADa\\_de\\_restricciones\\_para\\_empresas\\_colombianas](http://www.academia.edu/4812230/Desarrollo_de_una_metodolog%C3%ADa_de_implementaci%C3%B3n_de_los_conceptos_de_TOC_Teor%C3%ADa_de_restricciones_para_empresas_colombianas)
- González, M. (2005). *Gestión de la producción: cómo planificar y controlar la producción industrial*. España: Ideaspropias Editorial S.L.
- González, F. J., Bañegil, T. M., Chamorro, A., & Rubio, S. (2005). *Manual de dirección de operaciones*. Madrid: Thomson.
- Guitart, L., & Baraza, X. (2014). *Dirección de operaciones: decisiones tácticas y estratégicas*. (A. Nuñez Carballosa, Ed.) Oberta UOC Publishing.
- Haase, K. (2012). *Lotsizing and scheduling for production planning* (Vol. 408). Springer Science & Business Media.
- Hanke, J., & Wichern, D. W. (2006). *Pronósticos en los negocios* (8va ed.). (A. Mues Zepeda, & E. Guerrero Ushakova, Trads.) México: Pearson Educación.

- Harrison, J. S., & St. John, C. H. (2002). *Fundamentos de la dirección estratégica* (2da ed.). Madrid: Paraninfo S.A.
- Heizer, J. &. (2014). *Principios de administración de operaciones* (9a ed.). México: Pearson Educación.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones* (5ta ed.). México: Pearson Educación.
- Hernández, C. (1986). *Planificación y programación*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia - EUNED.
- Herrmann, J. W. (Ed.). (2006). *Handbook of production scheduling* (Vol. 89). USA: Springer Science & Business Media.
- Jacobs, F. R., Chase, R. B., & Aquilano, N. J. (2009). *Operation and Supply management*.
- Kalenatic, Dusko, Bello, L., C. A., Rodríguez, G., & L. J. (2006). *Modelo integral de producción en empresas manufactureras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis* (5ta ed.). México: Pearson Educación.
- Krajewski, Lee, Ritzman, Larry, Malhotra, & Monoj. (2008). *Administración de operaciones : proceso y cadena de valor*.
- Levine, D. M., Berenson, M. L., & Krehbiel, T. C. (2006). *Estadística para administración*. México: Pearson Educación.
- Los Santos, I. S. (2006). *Logística y marketing para la distribución comercial* (3ra ed.). Esic Editorial .
- Maimon, O., Khmelnitsky, E., & Kogan, K. (2013). *Optimal flow control in manufacturing systems: Production planning and scheduling* (Vol. 18). Springer Science & Business Media.

- Martín, P. M., & Díaz, E. (2016). *Fundamentos de dirección de operaciones en empresas de servicios* (2da ed.). España: ESIC Editorial.
- Martín del Campo, F. (1999). *Planeación estratégica y tecnologías de información para la pequeña y mediana empresa*. México: Universidad Iberoamericana.
- Martínez, I. A., Vértiz, G., López, J. F., Jiménez, G., & Moncayo, L. A. (2014). *Investigación de Operaciones*. México: Grupo Editorial Patria.
- Meisel D, C. A., Bermeo, H. P., & Oviedo, L. (2006). Generación de valor a través de la gestión estratégica del conocimiento, de la innovación y la mejora continua «Un modelo de aplicación al sistema de operaciones de una Pyme manufacturera». *Scientia et Technica*, 2(31).
- Molina, M. A. (26 de marzo de 2008). *La teoría de las restricciones y la cadena logística como elementos indisolubles*. Recuperado de <http://www.ilustrados.com/tema/12036/teoria-restricciones-cadena-logistica-como-elementos.html>
- Mnookin, R. (2010). *Negociando con el diablo: cuándo negociar o cuándo pelear*. Norma.
- Monsalve, G. P. (2018). *Planificación de operaciones de manufactura y servicios*. Colombia: Fondo editorial ITM.
- Moreno, M. (2008). *Plan de operaciones*. Buenos Aires: Biblioteca Nacional.
- Muñoz, D. F. (2009). *Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios*. México: Cengage Learning Editores.
- Muther, R. (1970). *Distribución en planta* (2da ed.). Barcelona: Hispano Europea. Recuperado de <http://hpcinc.com/wp-content/uploads/2016/07/Spanish-PPL.pdf>
- Nahmias, S. (1999). *Análisis de la producción y las operaciones*. (J. E. Murrieta Murrieta, Trad.) México: Compañía Editorial Continental.

- Ortiz, V. K., & Caicedo, Á. J. (mayo - agosto de 2014). Programación óptima de la producción en una pequeña empresa. *Ingeniería Industria*, XXXV(2), 114-130. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360433597002>
- Parra, & Francisca. (2005). *Gestión de stocks*. Madrid: ESIC.
- Perdomo, & Abraham. (2000). *Administración financiera de inventarios: tradicional y justo a tiempo*. México: Thomson.
- Pinedo, M. L. (2005). *Planning and scheduling in manufacturing and services* (Vol. 24). New York: Springer Science.
- Pinto, S. A. (2010). *Evaluación y mejoramiento de los sistemas de producción en proyectos de construcción*. (Tesis de Maestría), Pontificia Universidad Católica de Chile: Santiago de Chile,. Recuperado de <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1856/547381.pdf?sequence=1>
- Render, B., Stair, R. M., & Hanna, M. E. (2006). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: Pearson Educación.
- Render, Barry, Heizer, Jay, Murrieta, & J. E. (2014). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Robbins, S. P., & Coulter, M. (2005). *Administración* (8va ed.). México: Pearson Educación.
- Rojas, M. D. (2004). *Administración para ingenieros* (2da ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Russel, Roberta, Taylor, & Bernard. (2003). *Operations management*. New Jersey: Pentice - Hall.
- Salvendy, & Gavriel. (2005). *Manual de ingeniería industrial. Volumen I*. México: Limusa.
- Salvendy, & Gavriel. (2005). *Manual de ingeniería industrial. Volumen II*. México: Limusa.

- Sarache, W. A. (3 de junio de 2003). *El proceso de planificación, programación y control de la producción. Una aproximación teórica y conceptual*. Recuperado el 2016, de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.monografias.com/trabajos11/propla/propla.shtml>
- Saravanan. (2006). *Manufacturing optimization through intelligent techniques*. Boca Ratón: FL: CRC Press.
- Schroeder, R. G. (1996). *Administración de operaciones*. Mc Graw Hill.
- Schroeder, R., & Goldstein, S. &. (2011). *Administración de operaciones Conceptos y casos contemporáneos* (5a ed.). México: Mc Graw Hill.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (2008). *Inventory management and production planning and scheduling*. USA: John Wiley & Sons.
- Software estadístico SPSS V.17*. (s.f.). Recuperado de Blogspot.com.co: <http://sociologoscentral.blogspot.com.co/2010/09/spss-17.html>
- Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones* (7ma ed.). (V. González Pozo, Trad.) México: Pearson Educación.
- Tenicela, D. P. (2017). *Proyecto de mejora para la producción de una empresa camaronera, aplicando la teoría de las restricciones*. (Trabajo Previo a Tesis de Pregrado).Machala: Universidad Técnica de Machala. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10025/1/ECUACE-2017-AE-DE00138.pdf>
- Torres, R. R. (26 de Julio de 2005). *Control de la producción*. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos24/control-produccion/control-produccion.shtml?fbreg=1>
- Umble, M. M., & Srikanth, M. L. (1990). *Synchronous Manufacturing principles for a world manufacturing*. Ohio: South Western Publishing Co.
- Velásquez , A. (enero-abril de 2003). Modelo de gestión de operaciones para Pymes Innovadoras. *Escuela de Administración de Negocios – EAN*, (47), 66-87.

- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Jacobs, R. (2005). *Planeacion y control de la produccion:administracion de la cadena de suministros* (5ta ed.). México: McGraw-Hill.
- Wang, L., & Shen, W. (Edits.). (2007). *Process planning and scheduling for distributed manufacturing*. Springer Science & Business Media.
- Wheelen, T. L., & Hunger, J. (2007). *Administración estratégica y política de negocios* (10ma ed.). (M. Á. Sánchez, Trad.) México: Pearson Educación.
- Winston, W. L. (2005). *Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos* (7a ed.). México: Prentice-Hall.
- Zandin, & Kjell. (2005). *Maynard manual del ingeniero industrial. Tomo I*. México: McGraw - Hill.
- Zandin, & Kjell. (2005). *Maynard manual del ingeniero industrial. Tomo II*. México: McGraw - Hill.
- Zapata, J. (2014). *Fundamentos de gestión de inventarios*. México: Esumer.

# Tablas

1	Clasificación de los procesos de producción . . . . .	15
2	Los sistemas productivos y sus características . . . . .	17
3	Clasificación de los sistemas productivos . . . . .	18
4	Tiempos por operación del proceso . . . . .	34
5	Asignación de puestos . . . . .	35
6	Asignación de puestos de trabajo . . . . .	37
7	Matriz de precedencia . . . . .	40
8	Tabla síntesis de puestos . . . . .	41
9	Síntesis de puestos mejorada . . . . .	42
10	Matriz de precedencia método mejorado . . . . .	43
11	Datos del ejercicio . . . . .	48
12	Cálculo regla FCFS . . . . .	48
13	Cálculo regla SPT . . . . .	49
14	Cálculo regla EDD . . . . .	49
15	Cálculo regla CR1 . . . . .	50
16	Cálculo regla CR2 . . . . .	50
17	Cálculo regla CR3 . . . . .	50
18	Cálculo regla CR4 . . . . .	51
19	Cálculo regla CR5 . . . . .	51
20	Cálculo asignación regla CR . . . . .	51
21	Cálculo de los criterios de decisión . . . . .	52
22	Tiempos de ejecución en horas . . . . .	52
23	Tiempos de ejecución de aplicación Johnson . . . . .	54
24	Tiempos de ejecución en horas . . . . .	55
25	Tiempos del proceso . . . . .	59
26	Secuencia de puestos . . . . .	60
27	Balance de rutas factibles . . . . .	61
28	Trabajos a procesar . . . . .	62

29	Primeras llegadas primeros en ser servidos . . . . .	63
30	SPT tiempo de procesamiento más breve . . . . .	63
31	EDD tiempo más próximo de entrega . . . . .	63
32	CR relación crítica . . . . .	64
33	Relación crítica 2 . . . . .	64
34	Relación crítica 3 . . . . .	64
35	Relación crítica 4 . . . . .	65
36	Relación crítica 5 . . . . .	65
37	Cuadro Relación crítica . . . . .	65
38	Cuadro resumen de las reglas . . . . .	66
39	Órdenes de trabajo a procesar . . . . .	66
40	FCFS Primeras llegadas primeros en ser servidos . . . . .	66
41	SPT Tiempo más corto de procesamiento . . . . .	67
42	EDD Fecha más pronta de entrega . . . . .	67
43	Relación Crítica CR 1 . . . . .	67
44	CR 2 . . . . .	67
45	CR 3 . . . . .	68
46	CR 4 . . . . .	68
47	Cuadro resumen regla relación crítica . . . . .	68
48	Indicadores . . . . .	68
49	Tratamientos térmicos a procesar . . . . .	69
50	FCFS Regla del jefe de producción . . . . .	69
51	SPT Regla que se desea evaluar . . . . .	70
52	EDD Regla que se desea evaluar . . . . .	70
53	Indicadores para toma de decisión . . . . .	70
54	Tiempos de ejecución en horas . . . . .	71
55	Secuencia de los pedidos . . . . .	71
56	Datos ejercicio modelos de computadora . . . . .	72
57	Cálculo de EOQ para los modelos de computadora . . . . .	72
58	Datos ejercicio ensamblés electrónicos . . . . .	73

59	Cálculo EOQ Ensamblados electrónicos . . . . .	73
60	Datos ejercicio ensamble de motos . . . . .	74
61	Cálculo de inventario y demanda en horas . . . . .	74
62	Cálculo de inventario final deseado y demanda pronosticada en horas	74
63	Cálculo producción requerida y asignación de horas . . . . .	75
64	Datos ejercicio ensamble de partes de PC portátiles . . . . .	75
65	Cálculo de inventario y demanda en horas, ejercicio 6 . . . . .	75
66	Cálculo de inventario final deseado y demanda pronosticada en horas, ejercicio 6 . . . . .	76
67	Cálculo producción requerida y asignación de horas, ejercicio 6 . . . .	76
68	Datos del ejercicio propuesto 1, capítulo 2 . . . . .	77
69	Datos del ejercicio propuesto 2, capítulo 2 . . . . .	77
70	Datos ejercicio propuesto 3, capítulo 2 . . . . .	78
71	Datos ejercicio propuesto 4, capítulo 2 . . . . .	78
72	Datos ejercicio propuesto 5, capítulo 2 . . . . .	78
73	Datos ejercicio propuesto 6, capítulo 2 . . . . .	79
74	Datos ejercicio propuesto 7, capítulo 2 . . . . .	79
75	Datos ejercicio propuesto 8, capítulo 2 . . . . .	79
76	Datos ejercicio propuesto 9, capítulo 2 . . . . .	80
77	Datos ejercicio propuesto 10, capítulo 2 . . . . .	81
78	Datos ejercicio propuesto 11, capítulo 2 . . . . .	81
79	Turnos de trabajo para programación de turnos de trabajo de auxi- liares en un club de Llano Grande . . . . .	91
80	Modelos de filas con sus fórmulas . . . . .	96
81	Temas operaciones de servicio . . . . .	112
82	Cálculos de la red de aplicación . . . . .	124
83	Datos del ejemplo análisis PERT . . . . .	125
84	Cálculo de los tiempos estimados 1 . . . . .	127
85	Cálculo de los tiempos estimados 2 . . . . .	128
86	Datos del ejercicio 3 . . . . .	129
87	Datos del ejercicio 4 . . . . .	129

88	Datos del ejercicio 5 . . . . .	130
89	Tabla datos del ejercicio 6 . . . . .	131
90	Tabla datos del ejercicio 7 . . . . .	132
91	Datos del ejercicio 8 . . . . .	133
92	Tiempos PERT del ejercicio 9 . . . . .	135
93	Cálculo de los tiempos estimados y desviación . . . . .	135
94	Datos del ejercicio propuesto 1 . . . . .	137
95	Datos del ejercicio propuesto 2 . . . . .	137
96	Datos del ejercicio propuesto 3 . . . . .	138
97	Datos del ejercicio propuesto 4 . . . . .	138
98	Datos del ejercicio propuesto 5 . . . . .	139
99	Datos del ejercicio propuesto 6 . . . . .	139
100	Datos del ejercicio propuesto 7 . . . . .	140
101	Secuencia de operaciones y tiempos para elaboración de un mueble .	140
102	Secuencia de operaciones y tiempos ensamble de aeronave . . . . .	141
103	Datos del ejercicio propuesto 10 . . . . .	141

# Figuras

1	Clasificación sistemas de producción . . . . .	16
2	Modelo de un sistema productivo por departamentos . . . . .	19
3	Modelo de un sistema productivo lineal . . . . .	21
4	Modelo de un sistema productivo ajustado . . . . .	23
5	Sistema de producción flexible intermitente . . . . .	24
6	Sistema de producción flexible continuo . . . . .	25
7	Modelo de un sistema productivo por posición fija . . . . .	26
8	Gráfico de precedencia . . . . .	36
9	Árbol de secuencias . . . . .	36
10	Condiciones de precedencia método Hoffman . . . . .	38
11	Precedencias ejemplo método de Hoffman . . . . .	39
12	Secuencia de tiempos de producción . . . . .	55
13	Gráfico de precedencia . . . . .	59
14	Árbol de secuencia . . . . .	60
15	Secuencia por máquina . . . . .	71
16	Necesidad de auxiliares para las zonas húmedas y el gimnasio . . . . .	90
17	Cantidad de auxiliares requeridos en las zonas húmedas y el gimnasio . . . . .	90
18	Procedimiento heurístico de turnos de trabajo para programación de turnos de trabajo de auxiliares en un club de Llano Grande . . . . .	91
19	Estructura de los sistemas de filas . . . . .	94
20	Flujograma general de un tratamiento térmico . . . . .	108
21	Estructura de la red . . . . .	118
22	Red ejemplo de aplicación CPM . . . . .	122
23	Red del ejercicio de aplicación . . . . .	125
24	Cálculo de la probabilidad . . . . .	126
25	Diagrama de Gantt 1 . . . . .	127
26	Diagrama de Gantt 2 . . . . .	128
27	Red del ejercicio 3 . . . . .	129

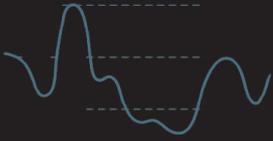
28	Red del ejercicio 4 . . . . .	130
29	Red del ejercicio 5 . . . . .	130
30	Red del ejercicio 6 . . . . .	131
31	Red del ejercicio 7 . . . . .	132
32	Red CPM del ejercicio 8 . . . . .	134
33	Red del ejercicio 9 . . . . .	135
34	Plan de mejoramiento en TOC . . . . .	145
35	Proceso de mejora continua . . . . .	146
36	Protocolo TOC . . . . .	148
37	Proceso de pensamiento . . . . .	156
38	La nube . . . . .	157
39	Nube de la panadería industrial PAN . . . . .	161
40	Árbol de realidad actual panadería industrial PAN . . . . .	163



La fuente tipográfica empleada es *Times New Roman*  
12 puntos en texto corrido.



Institución Universitaria  
Acreditada en Alta Calidad



Esta obra contiene la descripción de modelos exactos y algunos heurísticos, para programar y controlar sistemas productivos y de servicios. Se prioriza en técnicas tradicionales utilizadas en empresas industriales y se da relevancia a las operaciones de servicio, dado el crecimiento a nivel mundial de las organizaciones de esta naturaleza.

46%

This work describes exact and heuristic models used to program and control production and service systems. Besides, due to the growth of this type of organizations worldwide, it features traditional techniques adopted in industrial companies and service operations

$$t_s = \frac{1}{(\mu - \lambda)}$$