



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®**

Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

Asignatura:

Administración de las Operaciones II

INC-1001

Carrera:

Ingeniería industrial

IIND-2010-227

Catedrático:

Salvador Genaro Vázquez Floriano.

Septiembre 2023



Índice

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
INTRODUCCIÓN.....	V
TEMA 1.....	1
PLANEACIÓN AGREGADA.	1
1.1. <i>Objetivo e Importancia de la planeación agregada.</i>	1
1.2. <i>El proceso de planeación.</i>	2
1.3. <i>Elaboración del plan.</i>	2
1.3.1. Métodos heurísticos.	2
Costos de la planeación agregada.	3
1.3.1.2. Estrategia de persecución.....	4
Plan de inventario cero.....	4
Plan de fuerza de trabajo nivelada.	8
Plan de producción constante sin faltantes.....	10
1.4. <i>Planeación agregada en el sector Servicios.</i>	11
CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN.	12
TEMA 2.....	14
PROGRAMA MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN.	14
2.1. <i>Proceso de programación maestra de producción.</i>	14
2.4. <i>Cantidades disponibles para promesa.</i>	20
2.5.1. Suavización exponencial.	21
CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN.	22
TEMA 3.....	23
PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE LOS MATERIALES.	23
3.1 <i>Planeación de Requerimiento de Materiales.</i>	23
Construyendo la lista de materiales.	25
Rutas para obtener fechas de entrega.	27
Tiempos de fabricación y compras, MPS.	28
3.2 <i>Estructura y funcionamiento del Sistema MRP.</i>	30
3.3 <i>Estructura y funcionamiento del Sistema MRP II.</i>	30
3.4 <i>Planeación de los Recursos de la Empresa ERP.</i>	31
3.5 <i>Evolución del MRP a MR PII y a ERP.</i>	32
3.6 <i>Planeación de Requerimientos de Capacidad CRP.</i>	32
3.7 <i>MRP en el sector servicios.</i>	33
3.8 <i>Planificación de los Recursos de Distribución DRP.</i>	34
3.8.1 Estructura de la DRP.	34
CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN.	35

TEMA 4.....	37
SISTEMA JUSTO A TIEMPO (JIT)	37
4.1 Contexto y Filosofía del sistema JIT.	37
4.2 Estrategias básicas del sistema JIT.	38
4.3 Metas del sistema JIT.	44
4.3.1 Los 7 Ceros.....	44
4.4 Elementos del sistema JIT.....	45
4.4.1 Proveedores y distribuidores en JIT.....	45
4.4.2 Sistema de Inventarios en JIT.	46
4.4.3 Nivelación de la producción en JIT.....	47
4.5 Kanban en JIT	47
4.6 Reacción en cadena de la calidad.....	49
CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN.	50
BIBLIOGRAFÍA	52

Índice de figuras

Figura 2. 1 MPS para una familia de sillas, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).....	14
Figura 2. 2 Como se relaciona la Planeación Agregada con el MPS.....	15
Figura 2. 3 MPS por semanas hasta el mes de marzo y el Plan agregado.	17
Figura 2. 4 Ejemplo del Diseño de un MPS, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).	17
Figura 3. 1 MRP sencillo con los componentes de una bicicleta.....	23
Figura 3. 2 La silla como Padre y sus componentes, cortesía de (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).....	24
Figura 3. 3 Subunidad de asiento.....	24
Figura 3. 4 Lista de materiales o BOM de la silla con respaldo tipo escalera, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).	25
Figura 3. 5 BOM o Lista de materiales del MRP, con sus niveles y tipo de elementos.	26
Figura 3. 6 BOM en forma de lista con sus cantidades.	26
Figura 3. 7 MRP con sus tiempos de entrega LT.....	27
Figura 3. 8 BOM en forma de lista de todos los elementos y sus cantidades.....	28
Figura 3. 9 Estructura del MRP según Barry Render y Jay Heizar.	30
Figura 3. 10 Módulo de aplicación del sistema ERP, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).	31
Figura 3. 11 Cierre de ciclo en el MRP.	33
Figura 3. 12 Estructura de un producto en el sector servicios de restaurante.....	34
Figura 4. 1 El inventario representa al nivel de agua del lago, a medida que baja el agua aparecerán las rocas que son los problemas.....	39
Figura 4. 2 Gráfico original de lote económico.	40
Figura 4. 3 Gráfico con la modificación de los costos de preparación Co.	41
Figura 4. 4 Distribución de Célula de Manufactura en la empresa Unitrode en Chihuahua.	43
Figura 4. 5 Distribución de una planta con células de manufactura.	43
Figura 4. 6 Reducción de lotes de clientes, nivelando la producción.	47
Figura 4. 7 Simulación de una línea de producción.....	49
Figura 4. 8 Reacción en cadena de mejora al reducir el tamaño de lote, (Schonberger, Técnicas Japoneas de Fabricación, 1987).....	50

Índice de tablas

Tabla 1. 1 Tabla de costos para cálculos del plan agregado.	4
Tabla 1. 2 Formato del Plan agregado.	5
Tabla 1. 3 Plan de Inventario Cero, resuelto.....	7
Tabla 1. 4 Plan de fuerza de trabajo nivelada.	9
Tabla 1. 5 Producción constante sin faltantes, terminado.....	11

Introducción

Esta materia tiene un impacto muy importante en el aprendizaje del futuro ingeniero industrial, es una materia de aplicación en las operaciones de producción.

En esta asignatura en el Tema 1 se verá cómo se desarrolla “la planeación agregada” y como impacta en los sistemas de producción que se estudiaron en “Administración de las Operaciones I”. La planeación agregada son los volúmenes de producción y se les llama también planes agregados, porque determinan los niveles adecuados de producción futura para planear los recursos de la fuerza laboral y los costos necesarios para obtener la producción demandada.

El Tema 2 es el Programa Maestro de Producción o MPS por sus siglas en inglés de “Master Production Schedule”, es otro recurso táctico necesario que se presenta en el piso de producción. Son los niveles de producción semanales que los encargados de la producción necesitan para poder planear sus recursos físicos y humanos. En este tema se hace un diseño de producción a partir de los pronósticos que se trataron en la materia anterior y el nivel de ventas.

El Tema 3, la planeación de requerimiento de materiales, se refiere específicamente a un producto particular para determinar todos los materiales necesarios para elaborar este producto y obtener el número de piezas se van a comprar o subensambles que se van a fabricar para ensamblar un producto específico. Si se pide una determinada cantidad de un producto terminado, con esta metodología se dispondrá de la lista de materiales necesarios.

El último capítulo de esta asignatura, Tema 4, es un contenido sumamente importante en toda la industria, el Justo-A-Tiempo o JIT, por sus siglas en inglés de Just-In-Time. Es toda una filosofía de como trabajar justo con lo necesario, sin excesos de cualquier tipo, como: inventarios ociosos, actividades que no agregan valor al producto, mano de obra ociosa, etc.

En cada capítulo se verá a detalle la metodología para comprender ampliamente cada concepto vertido aquí.

Tema 1

Planeación Agregada.

Según (Nahmias, 2007): “a lo largo de la vida tomamos decisiones tanto micro como macro. Las decisiones micro pueden ser qué desayunaremos, qué ruta tomaremos para ir al trabajo, a cuál supermercado acudiremos o qué película rentaremos. Entre las decisiones macro se encuentran aquellas que pueden cambiar el curso de nuestra vida: dónde vivir, qué estudiar, dónde trabajar, con quién casarnos. Una compañía también debe tomar decisiones micro y macro todos los días. Exploraremos las decisiones tomadas a nivel macro, como puede ser la planeación de los niveles de producción y de fuerza de trabajo en toda la compañía”.

Es por eso que algunos autores denominan a “la planeación agregada” con el nombre de Planeación Macro, ya que se concentran en qué nivel de producción desarrollará la empresa cada mes, por lo general 6 meses o un año.

Con esta información la planeación agregada deberá incluir el número de trabajadores o fuerza laboral cada mes, así como los costos de contratación, si aumenta la demanda o despido, si baja la demanda, de la misma manera este tipo de planeación determinará los niveles de inventario que se acumularán o la falta de ello que se reflejará en incumplimiento.

La fuerza de trabajo puede ser constante cuando la demanda también lo es. Muchas veces la planeación agregada utiliza varios métodos para resolver la inconsistencia de la demanda y debido a ello los administradores que toman las decisiones estudiando diferentes planes comparándolos.

1.1. Objetivo e Importancia de la planeación agregada.

Como la demanda es muy indefinida, uno de los objetivos es suavizar los picos que ésta presenta y producir a un mismo nivel. Esto sucede cuando la compañía tiene procesos rígidos, es decir, no son procesos flexibles para adaptarse a la demanda y algunos administradores no quieren despidos o grandes contrataciones. Los despidos cuestan mucho dinero, pero las contrataciones de personal nuevo son demasiado tardadas y caras, debido a la curva de aprendizaje del trabajador ya que algunas veces lleva mucho tiempo para que alcance el nivel de productividad deseado. En los ambientes dinámicos, las empresas han visto que pueden ser más flexibles, si la manufactura se consigue en el exterior, esto es, se subcontrata la mano de obra (Nahmias, 2007).

La planeación agregada tiene como objetivo satisfacer la demanda, determinar un plan de producción que maximice la demanda, hacer planes presupuestarios, conocer el nivel de mano de obra, conocer la capacidad de almacenaje para operar con inventarios en periodos de baja demanda.

1.2. El proceso de planeación.

Para poder hacer la planeación agregada, debemos conocer la capacidad del sistema de producción. Una planeación agregada sin tomar en cuenta la capacidad, no operaría eficientemente y pondría en evidencia a la compañía frente a sus clientes.

Muchas empresas tienen como política no despedir a trabajadores cuando la demanda baja y tratan de mantener su fuerza laboral, asignándoles otro tipo de trabajo o más capacitación.

Cuando sube la demanda los planes agregados muchas veces recurren en asignaciones de tiempo extra o subcontrataciones. Las subcontrataciones se observan mucho en productos estacionales, tales como la poda o pizca de manzana en las áreas alrededor de Cd. Cuauhtémoc, y poblados de Chihuahua.

Muchas empresas manejan diferentes tipos de productos. Esto representa un problema para la planeación agregada, ya que no es posible hacer un plan agregado para cada producto diferente. Los ingenieros de la producción hacen planes por familia de productos, es decir, una familia de productos se fabrica de la misma manera. Pero también algunas veces, cuando los productos son muy diversos, la planeación agregada utiliza unidades agregadas en peso, volumen, valor en dinero, etc.

Los planes agregados cuando tienen un horizonte de planeación muy corto, como un mes, pueden provenir de las ventas registradas de los clientes, pero cuando es más de un mes, hasta 6 meses, se pierde la certeza de las ventas y se usan los datos que hayan pronosticado.

1.3. Elaboración del plan.

1.3.1. Métodos heurísticos.

Este tipo de métodos se refiere a encontrar soluciones rápidas pero buenas. No presentan una solución óptima como la programación lineal, como los métodos de hojas de cálculo, muy aceptadas por algunos administradores de operaciones.

Estos métodos requieren tener los datos de costos de inventario, costos faltantes, y costos de mano de obra por hora. También se debe conocer la capacidad instalada de la empresa y las unidades demandadas o unidades agregadas.

1.3.1.1. Estrategia nivelada.

En lugar de planear para una demanda variable, la forma más útil es convertir la demanda en constante. Hay varios métodos que veremos más adelante para hacer eso.

La demanda de productos siempre va a ser muy variable, pero la empresa no puede tener mano de obra variable, cuando contrata, entrena a la gente hasta que alcance su ritmo o nivel de producción planeado y busca que no haya rotación de mano de obra directa, entonces las empresas optan por la estrategia de planeación agregada, nivelando la producción para que se ajuste al nivel de trabajadores.

Dentro de las estrategias de la planeación agregada se espera tener una producción, así como fuerza de trabajo constante, esa es la estrategia que muchas empresas adoptan. De acuerdo a los pronósticos de la demanda, éstos se pueden aumentar o disminuir para nivelar la demanda. Por lo tanto, requiere un ritmo de producción y mano de obra constante.

Desde luego esto puede provocar costos innecesarios cuando varía mucho la demanda por los inventarios que pueden generar o la falta de ellos y no cumplir al cliente. La empresa debe estudiar muy bien el mercado de los productos que fabrica para adoptar la estrategia correcta, luego tomar decisiones que más le beneficien a la empresa.

Costos de la planeación agregada.

Antes que nada, definamos los costos que incurren en la planeación agregada:

Costos de contratación y despido: son todos aquellos involucrados en aumentar la fuerza laboral o mano de obra, pero también los despidos. En los costos de contratación son todos aquellos como los gastos necesarios para poner anuncios clasificados donde se presentan los puestos vacantes, el tiempo que se requiere para entrevistas y el tiempo invertido en la capacitación.

Cuando la mano de obra disminuye, se incurre en costos de despido, como las indemnizaciones, que incluyen pagos de aguinaldo proporcional, pagos de vacaciones, pagos por número de años trabajados, etc., hay más costos ocultos o difíciles de medir, como el nivel de motivación de la gente que se queda y que puede causar incertidumbre si van a seguir los despidos.

Costos de almacenamiento: es el dinero invertido o capital de la empresa, son los costos de mantener los inventarios en lugar seguro, ventilados a temperatura ideal, o refrigerado, dependiendo del caso, protecciones del sol, viento, lluvia, en el caso de productos como remolques, pipas para camiones, incluyendo los costos de asegurar el producto, etc., en la actualidad hay un énfasis muy marcado de reducir los inventarios, porque ese capital invertido ocioso se puede usar para otros fines.

Costos faltantes: esos costos se presentan cuando la demanda es mayor que la capacidad de la compañía o que la demanda sobrepasa al pronóstico de ventas. También son llamados costos de penalización por no cubrir las necesidades del cliente y esto genera otro tipo de costos, como costos de tiempo extra o bien, subcontratación.

Costos de mano de obra: en los costos asociados a este rubro están la nómina de la fuerza laboral o el pago por día trabajado del operador de producción.

Costos de tiempo extra: cuando hay necesidades de tener más producto o cubrir un faltante para satisfacer las necesidades de los clientes, se recurre a esta estrategia.

Costos de subcontratación: se produce por una demanda anticipadamente muy grande, y se contrata a alguna empresa temporalmente, llamado también “outsourcing”, para que ejecute trabajos o servicios que requiere la empresa, para no tener que contratar más trabajadores.

1.3.1.2. Estrategia de persecución.

Según (Nahmias, 2007), la estrategia de persecución es un plan de producción que minimice los niveles de inventarios que debe mantener la compañía durante un horizonte de planeación para seis meses. Por lo tanto, la estrategia de persecución es el “plan de inventario cero”.

Una estrategia es producir solamente la demanda y no aceptar inventario llamado también “Plan de Inventario Cero”, (Sipper & Bulfin, 1989) se le suele llamar “Estrategia de Persecución”, porque persigue la demanda únicamente.

La siguiente metodología con hojas de cálculo la proporciona (Sipper & Bulfin, 1989, págs. 181-188), con tres planes agregados: 1) Plan de inventario cero, 2) Fuerza de trabajo nivelada y 3) Producción constante sin faltantes. Si es en Excel, se puede hacer una hoja inteligente, lo veremos y practicaremos con más detalle en clases.

Nota: en todos los planes que vamos a ver, no se contempla el tiempo extra, ni subcontrataciones externas, llamado también Outsourcing, pero se puede agregar, dependiendo de las necesidades de la empresa.

Plan de inventario cero.

Veamos el siguiente ejemplo que será reproducido en cada uno de los métodos, de esta manera poder hacer comparaciones de cual método es mejor:

Ejemplo

Una empresa produce bobinas que luego son ensambladas para hacer transformadores que van desde los pequeños, que se usan, por ejemplo, en cargadores de teléfonos celulares, hasta transformadores para todo tipo de aparatos electrónicos como televisores, amplificadores, radios, etc., estos se presentan en diferentes tamaños con números de vueltas o enrollado de alambre en cada bobina para generar diversos voltajes y amperajes. El proceso de fabricación de cada bobina es muy similar en todos ellos, por lo tanto, se pueden juntar para hacer la planeación agregada.

La tabla de costos es la siguiente:

Tabla 1. 1 Tabla de costos para cálculos del plan agregado.

COSTOS	
Producción Unidades/trabajador/día	4
Costo contratar/trabajador	\$450.00
Costo de almacén al mes/unidad	\$5.00
Salario y beneficios/trabajador	\$120.00
Costo de despido/trabajador	\$650.00
Costo de orden atrasada/unidad	\$15.00

Cada trabajador produce 4 unidades por día. El costo de contratar a un trabajador nuevo es de \$450 dólares, incluyendo entrenamiento, y todos los gastos de entrevista y promoción de puestos vacantes. Si existe inventario se debe almacenar y cuesta \$5.00 dólares/día por pieza almacenada. Cuando hay despidos cada trabajador le va a costar a la compañía \$650, si se presentan

faltantes, dada pieza faltante cuesta \$15 y por último un trabajador gana \$120 dólares por turno normal al día.

La siguiente tabla es un plan agregado en el cual no incurren en tiempo extra o subcontrataciones, pero para fines didáctico es muy aproximada. Algunas empresas pueden tener un diseño diferente, por la naturaleza de su producto, pero al final es lo mismo.

Tabla 1. 2 Formato del Plan agregado.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
1	DIAS	22	20	23	21	22	22	
2	UNIDAD/TRABAJADOR							
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700	
4	TRAB. NECESARIOS							
5	TRAB. DISPONIBLES	33						na.
6	TRAB. CONTRATADOS							
7	CTO. CONTRATACION							
8	TRAB. DESPEDIDOS							
9	COSTO DESPIDO							
10	TRAB. EMPLEADOS							
11	CTO. MANO DE OBRA							
12	UNIDAD PRODUCIDAS							
13	INVENTARIO NETO							na.
14	COSTO ALMACENAR							
15	CTO. ORDEN ATRA-SADA							
16	COSTO TOTAL							

En la tabla muestra los días trabajados por cada mes, también la demanda mensual y el número de trabajador disponibles al momento de hacer el plan agregado.

Se calcula las unidades/trabajador $4 \times 22 = 88$, o lo mismo: 4 bobinas por trabajador en 22 días.

	ENE	FEB	MAR
DIAS	22	20	23
UNIDADES /TRABAJADOR	88		

Con los siguientes datos, podemos empezar a calcular. Por ejemplo, en el mes de enero se calculan los trabajadores necesarios de la siguiente manera: si se van a producir 3,000 bobinas, estas se tendrán que dividir entre lo que produce cada trabajador en 22 días, unidades/trabajador 88 es decir $3,000/88 = 34.09$ trabajadores, pero como no puede haber trabajadores fraccionales, el número debe redondearse siempre hacia arriba, 35 trabajadores.

Ahora hay que calcular los trabajadores contratados a partir de cuantos hay disponibles y cuántos necesarios. Como se calculó para 35 trabajadores necesarios y había 33 disponibles, $35 - 33$, se tendrá que contratar a 2 trabajadores.

El costo de contratación (renglón 7) es 2 contratados X 450 por cada uno da igual a \$900 dólares. Por lo tanto, en los renglones 8 y 9 no hay trabajadores despedidos y su costo también es 0. El renglón 10 los trabajadores empleados son lo mismo que trabajadores necesarios (renglón 4), son, por lo tanto 35 trabajadores.

Ahora hay que calcular el costo de la mano de obra renglón 11. Cómo tenemos 35 trabajadores necesarios o empleados, y el costo de mano de obra por día es de \$120 dólares, se multiplica 120 por 35 trabajadores para sacar el costo de un día, pero en todo el mes se trabajan 22 días; por lo tanto, son $35 \times 120 \times 22$, igual a \$92,400.

		ENE	FEB	MAR
1	DIAS	22	20	23
2	UNIDADES /TRABAJADOR	88		
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000
4	TRABAJADORES NECESARIOS	35		
5	TRABAJADORES DISPONIBLES	33		
6	TRABAJADORES CONTRATADOS	2		
7	COSTO DE CONTRATACIÓN	\$ 900		
8	TRABAJADORES DESPEDIDOS	0		
9	COSTO DE DESPIDO	\$ 0		
10	TRABAJADORES EMPLEADOS	35		
11	COSTO DE MANO DE OBRA	\$ 92,400		

Luego hay que calcular el renglón 12, que son las unidades producidas, pero como es un “Plan de Inventario Cero”, se debe producir exactamente la demanda de ese mes: 3,000 bobinas. Esto significa que no hay inventario neto, su costo de almacenaje, también es 0. En el renglón 15 no hay costo de orden atrasada o faltantes, pues se produjo exactamente la demanda.

Los costos totales (renglón 16) se suman para sacar enero, $\$900 + \$92,400$, dando un costo de \$93,300. Se hace lo mismo cada mes, hasta obtener los totales de la última columna.

En el mes de febrero. El número de trabajadores despedidos va a ser de 22 pues sólo se van a necesitar 13 trabajadores, pero se tenían 35, es decir en enero se necesitaban 35, que son los disponibles que se tiene para febrero; entonces, $35 - 13 = 22$ y da un costo de $22 \times 650 = \$14,300$.

En el mes de marzo se hace lo mismo, pero ahora se necesitan 4,000 bobinas, por tanto, los costos suben porque hay que contratar gente.

		ENE	FEB	MAR
1	DIAS	22	20	23
2	UNIDADES /TRABAJADOR	88	80	92
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000
4	TRABAJADORES NECESARIOS	35	13	44
5	TRABAJADORES DISPONIBLES	33	35	13
6	TRABAJADORES CONTRATADOS	2	0	31
7	COSTO DE CONTRATACIÓN	\$ 900	\$ 0	\$ 13,950
8	TRABAJADORES DESPEDIDOS	0	22	0
9	COSTO DE DESPIDO	\$ 0	\$ 14,300	\$ 0
10	TRABAJADORES EMPLEADOS	35	22	44
11	COSTO DE MANO DE OBRA	\$ 92,400	\$31,200	\$ 121,440
12	UNIDADES PRODUCIDAS	3,000	1,000	4,000
13	INVENTARIO NETO	0	0	0
14	COSTO DE ALMACENAR	\$ 0	\$ 0	\$ 0
15	COSTO DE ORDEN ATRASADA	\$ 0	\$ 0	\$ 0
16	COSTO TOTAL	\$ 93,300	\$ 45,500	\$ 135,390

Los directores ahora pueden tomar una decisión comparando este plan con los planes que explicaremos más adelante.

El Plan de Inventario Cero terminado se muestra en la siguiente Tabla 1.3.

Tabla 1. 3 Plan de Inventario Cero, resuelto.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
1	DIAS	22	20	23	21	22	22	130
2	UNIDADES /TRABAJADOR	88	80	92	84	88	88	520
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700	14,700
4	TRABAJADORES NECESARIOS	35	13	44	12	35	31	170
5	TRABAJADORES DISPONIBLES	33	35	13	44	12	35	NA
6	TRABAJADORES CONTRATADOS	2	0	31	0	23	0	56
7	COSTO DE CONTRATACIÓN	\$ 900	\$ 0	\$ 13,950	\$ 0	\$ 10,350	\$ 0	\$25,200
8	TRABAJADORES DESPEDIDOS	0	22	0	32	0	4	58
9	COSTO DE DESPIDO	\$ 0	\$ 14,300	\$ 0	\$20,800	\$ 0	\$ 2,600	\$ 37,700
10	TRABAJADORES EMPLEADOS	35	13	44	12	35	31	170
11	COSTO DE MANO DE OBRA	\$ 92,400	\$31,200	\$ 121,440	\$ 30,240	\$ 92,400	\$81,840	\$ 449,520
12	UNIDADES PRODUCIDAS	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700	14,700
13	INVENTARIO NETO	0	0	0	0	0	0	NA
14	COSTO DE ALMACENAR	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
15	COSTO DE ORDEN ATRASADA	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
16	COSTO TOTAL	\$ 93,300	\$ 45,500	\$ 135,390	\$ 51,040	\$ 102,750	\$ 84,440	\$ 512,420

Plan de fuerza de trabajo nivelada.

Ahora se adopta otra estrategia de negocios que muchas empresas recurren para que no tener que despedir a nadie y se puede hacer nivelando la demanda global con la fuerza de trabajo.

Ejemplo

COSTOS	
Producción Unidades/trabajador/día	4
Costo contratar/trabajador	\$450.00
Costo de almacén al mes/unidad	\$5.00
Salario y beneficios/trabajador	\$120.00
Costo de despido/trabajador	\$650.00
Costo de orden atrasada/unidad	\$15.00

Usando los mismos datos de las Tablas 1.1, 1.2 y 1.3, trazaremos este nuevo plan. Lo primero es sumar la demanda total.

En el renglón 3 se ve que la demanda total son 14,700 bobinas. Esta cantidad se va a repartir entre las unidades que produce cada trabajador en los 6 meses, $4 \times 130 = 520$, es decir $14,700 / 520 = 28.2$ trabajadores necesarios, pero siempre debe redondearse hacia arriba, quedando 29 trabajadores necesarios.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
1	DIAS	22	20	23	21	22	22	130
2	UNIDADES /TRABAJADOR	88	80	92	84	88	88	520
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700	14,700
4	TRABAJADORES NECESARIOS	29	29	29	29	29	29	
5	TRABAJADORES DISPONIBLES	33	29	29	29	29	29	NA

Hay 33 trabajadores disponibles y solo se necesitan 29, por lo tanto, hay que despedir $33 - 29 = 4$ trabajadores. Se oye muy fuerte tener que despedir a personal, pero los planes agregados son muy impersonales, los que toman las decisiones, ya sabrán qué hacer con alternativas diferentes en sus manos.

Este plan de fuerza de trabajo nivelada, sólo despide el primer mes (renglón 8), pero ya los siguientes meses se queda con la fuerza laboral, como se ve desde febrero hasta junio, se conservan los 29 trabajadores.

En el renglón 8, quedan cuatro trabajadores, despedidos y cada uno de ellos tiene un costo de despido de \$ 650, en este caso $4 \times 650 = \$ 2,600$ dólares (renglón 9).

En el renglón 10 “trabajadores empleados” son lo mismo que “trabajadores necesarios” (renglón 4), por lo tanto, quedan 29 trabajadores.

Calculemos el costo de mano de obra de enero, sabiendo que cada trabajador gana al día \$120 diarios, pero se trabajan 22 días en el mes, entonces hay que calcular para 29 trabajadores queda entonces, $29 \text{ trabajadores} \times 120 \text{ dólares/día} \times 22 \text{ días} = \$ 76,560 \text{ dólares}$.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
1	DIAS	22	20	23	21	22	22	130
2	UNIDADES /TRABAJADOR	88	80	92	84	88	88	520
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700	14,700
4	TRABAJADORES NECESARIOS	29	29	29	29	29	29	174
5	TRABAJADORES DISPONIBLES	33	29	29	29	29	29	NA
6	TRABAJADORES CONTRATADOS	0	0	0	0	0	0	0
7	COSTO DE CONTRATACIÓN	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 2,600
8	TRABAJADORES DESPEDIDOS	4	0	0	0	0	0	0
9	COSTO DE DESPIDO	\$ 2,600	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 2,600
10	TRABAJADORES EMPLEADOS	29	29	29	29	29	29	174
11	COSTO DE MANO DE OBRA	\$ 76,560	\$ 69,600	\$ 80,040	\$ 73,080	\$ 76,560	\$ 76,560	\$ 452,400

Ahora hay que calcular las unidades producidas, como cada trabajador produce 4 al día, en un mes producirá 88, pero son 29 trabajadores, entonces $88 \times 29 = 2,552$ bobinas (renglón 12).

El renglón 13, “Inventario Neto” cómo se calcula de la siguiente manera: la empresa sólo puede producir 2552 bobinas, pero se les pide 3000, entonces hay un faltante negativo de $2,552 - 3,000 = (-)448$.

Tabla 1. 4 Plan de fuerza de trabajo nivelada.

1	DIAS	22	20	23	21	22	22	130
2	UNIDADES /TRABAJADOR	88	80	92	84	88	88	520
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700	14,700
4	TRABAJADORES NECESARIOS	29	29	29	29	29	29	174
5	TRABAJADORES DISPONIBLES	33	29	29	29	29	29	NA
6	TRABAJADORES CONTRATADOS	0	0	0	0	0	0	0
7	COSTO DE CONTRATACIÓN	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 2,600
8	TRABAJADORES DESPEDIDOS	4	0	0	0	0	0	0
9	COSTO DE DESPIDO	\$ 2,600	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 2,600
10	TRABAJADORES EMPLEADOS	29	29	29	29	29	29	174
11	COSTO DE MANO DE OBRA	\$ 76,560	\$ 69,600	\$ 80,040	\$ 73,080	\$ 76,560	\$ 76,560	\$ 452,400
12	UNIDADES PRODUCIDAS	2,552	2,320	2,668	2,436	2,552	2,172	14,700
13	INVENTARIO NETO	(-) 448	872	(-) 460	976	528	0	NA
14	COSTO DE ALMACENAR	\$ 0	\$ 4,360	\$ 0	\$ 4,880	\$ 2,640	\$ 0	\$ 11,880
15	COSTO DE ORDEN ATRASADA	\$ 6,720	\$ 0	\$ 6,900	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 13,620
16	COSTO TOTAL	\$ 85,880	\$ 73,960	\$ 86,940	\$ 77,960	\$ 79,200	\$ 76,560	\$ 480,500

El costo de almacenar es cero, porque no se guardó nada, pero el costo de orden atrasada (renglón 15) es igual a $448 \text{ bobinas faltantes} \times 15 \text{ cada una} = \$ 6,720 \text{ dólares}$.

El Costo Total se calcula todos los costos de enero, dando un total de \$85,880 dólares (renglón 16).

El mes de febrero se calcula de la misma manera, pero al llegar al Inventario Neto varía un poco, se calcula de la siguiente manera. En enero hubo un inventario Neto negativo de 448 unidades, Y en febrero una producción de 2320, pero como se debían 448, entonces son $2,320 - 448 = 1,872$,

pero de esa cantidad hay que cubrir la demanda de este mes, que son 1,000 piezas, por lo tanto $1,872 - 1000 = 872$ unidades, cómo inventario.

En el mes de marzo producción es de 2,668 más el inventario que sobró en febrero, queda: $2,668 + 872 = 3,540$, sin embargo, en marzo, la demanda es de 4,000 piezas, $3,540 - 4,000 = (-)460$ de inventario negativo o faltante.

De esta manera se siguen calculando los siguientes meses. Es muy recomendable calcular cada mes, primero enero y luego, febrero, etc.

Nota importante: En el mes de junio no debe quedar inventario sobrante, ni faltante, pues es un proyecto de planeación agregada que termina en este mes.

Plan de producción constante sin faltantes.

Ejemplo

Ahora se va a calcular de otra manera, producción constante, quiere decir que una vez que se contrata al personal, ya no se vuelve a despedir, pero a diferencia del plan anterior, no debe haber faltantes, por lo tanto, la cantidad de trabajadores contratados debe ser mayor que el plan anterior que fue de 29. ¿cómo se calcula esto?

Primero se debe hacer una tabla, calculando el número de trabajadores por cada uno de los meses.

En el mes de enero, los datos se ponen tal cual estaban, en febrero se van sumando los días por mes y la demanda de la siguiente manera:

Una vez desarrollado la siguiente tabla, se escoge el mes con el mayor número de trabajadores, en este caso, fue enero con 35 trabajadores. Entonces 35 trabajadores van a ser los trabajadores

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
DIAS/MES	22	20	23	21	22	22
SUMA DE DIAS	22	42	65	86	108	130
DEMANDA	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700
SUMA DE DEMANDA	3,000	4,000	8,000	9,000	12,000	14,700
TOTAL, TRABAJADORES	35	24	31	27	28	29

necesarios para todos los meses y con esto se asegura que no va haber bobinas faltantes.

Lo que sigue, es calcular de la misma manera como se calculó el plan anterior, pero ahora con 35 trabajadores en lugar de 29. Y queda de la siguiente manera:

Como conclusión: este plan de producción constante sin faltantes, solo se toca la fuerza laboral en el primer mes, de ahí en adelante, la fuerza de Trabajo se nivela y ya no se despide, ni se con-

Tabla 1. 5 Producción constante sin faltantes, terminado.

		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL
1	DIAS	22	20	23	21	22	22	130
2	UNIDAD/TRABAJADOR	88	80	92	84	88	88	520
3	DEMANDA	3,000	1,000	4,000	1,000	3,000	2,700	14,700
4	TRAB. NECESARIOS	35	35	35	35	35	35	210
5	TRAB. DISPONIBLES	33	35	35	35	35	35	NA
6	TRAB. CONTRATADOS	2	0	0	0	0	0	2
7	CTO. CONTRATACION	\$900	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$900
8	TRAB. DESPEDIDOS	0	0	0	0	0	0	0
9	COSTO DESPIDO	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
10	TRAB. EMPLEADOS	35	35	35	35	35	35	210
11	CTO. MANO DE OBRA	\$92,400	\$84,000	\$96,600	\$88,200	\$92,400	\$92,400	\$546,000
12	UNIDAD PRODUCIDAS	3,080	2,800	3,220	2,940	3,080	-420	14,700
13	INVENTARIO NETO	80	1,880	1,100	3,040	3,120	0	NA
14	COSTO ALMACENAR	\$400	\$9,400	\$5,500	\$15,200	\$15,600	\$0	\$46,100
15	CTO. ORDEN ATRASADA	0	0	0	0	0	0	0
16	COSTO TOTAL	\$93,700	\$93,400	\$102,100	\$103,400	\$108,000	\$92,400	\$593,000

trata a nadie.

Nota importante: igual que en el plan anterior, el mes de junio no debe quedar inventario sobrante, ni faltante, pues es un proyecto de planeación agregada que termina en este mes.

1.4. Planeación agregada en el sector Servicios.

La planeación agregada en el sector servicios es más sencilla que la planeación agregada en la manufactura, ya que tiene muy pocos rubros. Como no existen inventarios acumulados, porque su producto es un servicio y por lo tanto no hay costos asociados a los inventarios físicos. Es muy importante conocer la demanda y saber qué capacidad se tiene para satisfacer las necesidades de los clientes.

Por ejemplo, los servicios de Internet de empresas como ATT, Telcel, Infinitum, etc., se tiene que saber cuánta demanda hay para cada uno de los servicios en velocidad y planes que ofrece la empresa y ver la disponibilidad de servidores para atender esa demanda.

Lo mismo pasa en una escuela, como el tecnológico, hay que conocer si existe una demanda suficiente para la capacidad de aulas y maestros que ofrece el tecnológico para cada una de las carreras.

También la planeación agregada en los servicios, se puede aplicar a las empresas de comida rápida como hamburguesas, pizzas, etc.

Según (Render & Heizer, Principios de administración de Operaciones, 2014):

La variable más importante para la administración de la capacidad en los servicios es la mano de obra.

- 1) *Una programación exacta de las horas de mano de obra para garantizar una respuesta rápida a la demanda del cliente.*
- 2) *Una forma de recurso de trabajadores “de guardia” que pueda sumarse o restarse para satisfacer la demanda inesperada.*
- 3) *Flexibilidad en las habilidades individuales de los trabajadores que haga posible la reasignación de la mano de obra disponible.*
- 4) *Flexibilidad en la tasa de producción o en los horarios de trabajo para satisfacer la demanda cambiante.*

Este tipo de planeación agregada en los servicios se puede aplicar a empresas financieras, hospitales, restaurantes, servicios del gobierno Municipal, Estatal o Federal, centros de fotocopiado e impresión, servicios de cómputo de internet, etc. Todas estas empresas se basan en su mano de obra muy bien seleccionada o capacitada.

Alguna de estas empresas requiere los servicios de Outsourcing para contratar fuentes externas cuando la demanda es muy alta, por lo tanto, este es un rubro que hay que agregar a la planeación agregada. También es muy común en la industria restaurantera, cuando hay picos altos de demanda, se requiere tener más personal que el promedio, y cuando la demanda es baja, dejan salir temprano a los empleados.

El **yield management** (o **administración del rendimiento**) es el proceso de planificación agregada que asigna recursos a los clientes a un precio que logrará maximizar los ingresos de la empresa. Su utilización se remonta a la década de 1980 cuando el sistema de reservas de American Airlines (denominado SABRE) permitía que la compañía aérea alterase los precios de los boletos, en tiempo real y en cualquier ruta, en función de la información sobre la demanda. Si parecía que la demanda para asientos caros era baja, se ofrecían más asientos de tarifa económica. Si la demanda de asientos de tarifa completa era elevada, se reducía el número de asientos destinados a la tarifa económica, (Heizer & Render, 2008).

Actualmente en muchas compañías aéreas de todo el mundo se ofrecen descuentos, si se paga con anterioridad a la fecha de vuelo, de tal manera que van llenando la capacidad del avión, y a medida que queden pocos boletos, los precios van aumentando, es decir, se cambia el valor del boleto, dependiendo del número de asiento disponibles.

Cuestionario de evaluación.

De la siguiente tabla hacer los tres planes para los siguientes datos: Plan de inventario cero, Fuerza de trabajo nivelada y Producción constante sin faltantes que se vieron en clase y determinar cuál de estos planes conviene más:

PONER AQUÍ EL TÍTULO DEL PLAN: _____

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
1	DÍAS	21	20	23	21	22	22	
2	UNIDAD/TRABAJADOR							
3	DEMANDA	2,760	3,500	3,970	3,500	3,200	3,000	
4	TRAB. NECESARIOS							
5	TRAB. DISPONIBLES	35						NA
6	TRAB. CONTRATADOS							
7	CTO. CONTRATACION							
8	TRAB. DESPEDIDOS							
9	COSTO DESPIDO							
10	TRAB. EMPLEADOS							
11	CTO. MANO DE OBRA							
12	UNIDAD PRODUCIDAS							NA
13	INVENTARIO NETO							
14	COSTO ALMACENAR							
15	CTO. ORDEN ATRASADA							
16	COSTO TOTAL							

COSTOS	
PROD. UNID./TRAB/DIA	4
COSTO CONTRATAR/TRABAJADOR	450
CTO. ALMACEN AL MES/UNIDAD	5
SALARIO Y BENEFICIOS/TRABAJADOR	120
COSTO DE DESPIDO/TRABAJADOR	600
CTO. ORDEN ATRASADA/UNIDAD	15

Tema 2

Programa Maestro de la Producción.

El Programa Maestro de la Producción detalla cuántos elementos finales se producirán dentro de periodos específicos. En él se divide el plan de ventas y operaciones en programas de productos específicos. La Figura 2.1 muestra cómo se subdivide el plan de ventas y operaciones de una familia de sillas en el programa maestro de producción semanal correspondiente a cada tipo específico de silla (el periodo en cuestión puede expresarse en términos de horas, días, semanas o meses). (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008)

	Abril				Mayo			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Silla con respaldo tipo escalera	150					150		
Silla de cocina				120			120	
Silla de escritorio		200	200		200			200
Plan de ventas y operaciones para la familia de sillas	670				670			

Figura 2. 1 MPS para una familia de sillas, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

2.1. Proceso de programación maestra de producción.

La programación maestra de producción, (MPS, por sus siglas en inglés *master production schedule*), llamado también “plan maestro de producción” en el argot de la manufactura del norte de México, define cuántos elementos finales se producirán en un determinado tiempo.

El MPS es el plan que necesita el personal de producción para saber la cantidad en que se tiene que producir y el tiempo para estar disponible ya terminado, de esta manera el departamento de producción debe también planear todos los recursos, maquinaria, mano de obra e insumos necesarios para poder fabricar de acuerdo a ese plan.

Por lo general, el plan maestro de producción debe estar especificado en días, semanas o inclusive meses, dependiendo del tipo de producto. Lo más ordinario es que el MPS sea en semanas, para que el personal de producción planeé producir diariamente y por hora.

De acuerdo a lo visto en la planeación agregada en el capítulo anterior, todas estas cantidades mensuales se deben dividir en cantidades más manejables y específicas para el área de producción, ya que de ahí salen hacia el cliente, para no tener que manejar inventarios ociosos o falta de ellos. Por lo tanto, el horizonte de tiempo del MPS es mucho más corto que el de planeación agregada.

Las cantidades desarrolladas en la planeación agregada provienen del plan de ventas y pronósticos, pero aun así las cantidades no son exactas, por lo tanto, ahora en la programación maestra de la producción debe haber mucha más precisión.

La programación maestra de la producción toma en cuenta los pronósticos y las ventas realizadas o contratadas para desarrollar su programación.

Otra consideración que se debe tomar en cuenta para desarrollar efectivamente el MPS, es saber la lista de materiales que se van a usar para ensamblar un producto. La lista de materiales es proporcionada en el siguiente Tema 3 “Planeación de Requerimiento de los Materiales” o MRP.

De acuerdo a (Heizer & Render, 2008) pág. 255, se muestra la siguiente figura, donde se observa claramente como incide la planeación agregada en el MPS para fabricación de automóviles. La suma de las 4 semanas del MPS, deberá coincidir con el volumen del plan agregado del mes de enero, así mismo de la semana 4 a la 8, la suma debe coincidir con el plan agregado del mes de febrero.

Meses	Enero				Febrero			
Plan agregado	1,600				1,900			
Programa Maestro de Producción MPS								
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Auto estándar	200		400	300	300		200	350
Auto automático		100		100		100	200	150
Auto de lujo	300		200		350		250	

Figura 2. 2 Como se relaciona la Planeación Agregada con el MPS.

Por lo general, el plan agregado utiliza una mezcla de productos de la misma familia, pero el programa maestro de la producción o MPS desglosa esta cantidad por productos específicos.

En el caso del ejemplo anterior, todos los automóviles son prácticamente iguales, sólo que unos son estándar, otros automáticos y otros de lujo. La fabricación es muy parecida de cada uno de ellos, aunque cambie de color, por lo tanto, el MPS lo separa muy bien.

2.2. Interfaces funcionales.

Las áreas funcionales de una empresa para el desarrollo del MPS involucran a todos los departamentos, desde mercadotecnia, finanzas, manufactura, calidad, control de la producción, contabilidad, mantenimiento, etc.

Las operaciones de producción forzosamente necesitan información de otros departamentos de la empresa para desarrollar el MPS. Los cambios que se le hacen al MPS son algunas veces para

cumplir con algún problema relacionado con algún cliente importante que necesita satisfacer su demanda imprevista. Algunos departamentos involucrados en el MPS, por lo general son con los departamentos de ventas que pertenece a mercadotecnia quien está muy relacionado con los clientes y el departamento de ingeniería, quien hace el MPS y todos los cambios para manufactura. Estos cambios involucran recursos adicionales, sobre todo cuando hay incrementos en los volúmenes de pedidos y por lo tanto el departamento de finanzas necesita estimar la cantidad de dinero para la compra de insumos, así como el tiempo extra, por si requiere trabajar más horas o días de lo planeado.

El departamento de control de producción es otro departamento que controla los volúmenes, tanto de materia prima, como de salida de producto y es quien envía los productos a los clientes. En este departamento se contabiliza la entrada de los productos que son los insumos que va a requerir el departamento de producción. Casi siempre hay algún personal de calidad revisando el producto que entra, para evitar que venga con algún defecto cosmético o funcional y que pueda ser muy costoso después, si se integra al proceso de producción. Pero este departamento también es el encargado de proteger los intereses del cliente para que los productos que sean enviados correctamente, con sus respectivos embalajes y cuidados, dependiendo del tipo de producto que fabrica la empresa.

El departamento de compras se ve seriamente involucrado para conseguir los insumos que requiere manufactura, sobre todo cuando hay cambios imprevistos no planeados y este departamento tiene que responder rápidamente, sin demora.

Finanzas siempre está presente en el MPS, porque de ahí salen los presupuestos para elaborar el MPS, la compra de materia prima, los costos necesarios para desarrollarlo.

Cuando se hace el MPS, es muy difícil cambiarlo, porque ya está planeado todo lo que se va a producir, los cambios cuestan mucho dinero, por lo tanto, muchas compañías necesitan la autorización de los encargados de más arriba. Mercadotecnia y manufactura son quienes deben actuar en equipo para cualquier cambio en el MPS por el bien de la compañía y la satisfacción del cliente.

2.3. Desarrollo de un programa maestro de producción MPS.

El autor de este documento, ha tenido la experiencia de estar en el departamento de producción. El primer reto al que se enfrentó, fue organizar y planear las tareas de producción diaria por máquina y de acuerdo al personal disponible y los técnicos que hacen las labores de preparación para cambios de modelos, llamado en el argot manufacturero, “Set-up”, que significa configuración o disposición. Se le mostró un Plan Maestro de Producción para 6 meses, este MPS ya estaba diseñado y dividido en semanas, como esto fue en los años 80’s, en que no se usaban tanto las computadoras como ahora, este MPS se hacía en una hoja “Printaform” de tamaño bastante grande que abarcaba completamente el escritorio, comprendía 26 semanas del año (medio año). La siguiente Figura 2.1 es una sencilla muestra del MPS, solo 12 semanas, como ejemplo, para ilustrar mejor.

PRODUCTO	Enero				Febrero				Marzo			
Semana ---->	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C-125	500	500		600	500	500			500		600	
C-126	1,000		1,000		1,200			1,000		500	500	
C-127		100	200		500		100					
C-128	300	300		300		300		300		300	300	
C-129		100			100		100					
C-130	200		200		200		200	200		200	400	
CA-100		100				100				100		
CA-101	50		50		100		50		50			100
CA-102		100	200		500		100		100			100
CA-103		100		100	150		100			100	50	
CA-104	300	300	300	300	300	300		300		300	300	
P. Agregada	7,200				6,600				4,500			

Figura 2. 3 MPS por semanas hasta el mes de marzo y el Plan agregado.

Con este plan se desarrollan las actividades de producción. La eficiencia en cumplir con estos planes es muy importante, si por alguna razón, no se llega a cumplir este plan, se tendrá que trabajar tiempo extra diariamente o hasta fines de semana. Nunca hay que fallarle al cliente.

El plan maestro de producción o MPS siempre toma en cuenta el pronóstico y las ventas comprometidas para hacer sus cálculos. Cuando estos dos rubros no coinciden, se toma el mayor de ellos. Veamos ahora un diseño para hacer el MPS de un producto en particular.

Ejemplo

La Figura 2.4 muestra el formato para diseñar el MPS de un producto, en este caso el refrigerador R-500. Se observa que hay una política de pedidos de 75 refrigeradores, por lo general esta política proviene de los cálculos del lote económico EOQ que se vio en “Administración de los Inventarios” de la asignatura anterior, Administración de Operaciones I. El lote económico es la cantidad óptima de pedido en la administración de inventarios y la cual se convierte en una política para pedir de esta compañía.

Refrigerador R-500										
										Política de pedidos: 75
										Tiempo de entrega: 1 sem
Cantidad a la mano: 45	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	35	35	30	30	35	35	35	30	30	30
Pedidos de los clientes (registrados)	38	27	30	40	50	50	50	50	20	25
Cantidad proyectada a la siguiente sem.										
Cantidad disponible en el MPS	60									
Iniciar el MPS										

Figura 2. 4 Ejemplo del Diseño de un MPS, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

(Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) Calculemos ahora la semana 1, se inicia donde dice “Cantidad proyectada a la siguiente semana”. Por alguna razón ya hay físicamente disponibles 45 refrigeradores, “Cantidad a la Mano” y además en la semana 1 hay una “Cantidad disponible en el MPS” de 60, entonces estos dos se sumarán $45+60=105$ refrigeradores disponibles para esta semana 1, de los cuales el cliente pide 38 (el mayor del pronóstico y los pedidos de los clientes), por lo tanto $105-38=67$ es la cantidad proyectada a la siguiente semana (semana 2). Es muy

importante que se utilice el valor mayor del pronóstico y de los “Pedidos de los clientes (registrados)”, es decir escoger el mayor entre 35 o 38.

Para obtener el llenado de “inicio del MPS”, se debe preguntar ¿67 refrigeradores cubren la siguiente semana? La siguiente semana pide el mayor entre 35 o 27, como 67 es mayor que 37, por lo tanto, no hay necesidad de iniciar el MPS y quedará como cero.

Refrigerador R-500		Política de pedidos: 75 Tiempo de entrega: 1 sem									
		Semanas									
Cantidad a la mano: 45		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico		35	35	30	30	35	35	35	30	30	30
Pedidos de los clientes (registrados)		38	27	30	40	50	50	50	50	20	25
Cantidad proyectada a la siguiente sem.	67										
Cantidad disponible en el MPS	60										
Iniciar el MPS	0										

La semana 2 se calcula empezando con 67, más lo que haya en “cantidad disponible en el MPS, menos el mayor de 35 y 27, $67+0-35=32$ de “Cantidad proyectada la siguiente semana”.

Siempre la cantidad que se encuentre en “Iniciar el MPS” se refleja una semana después en “Cantidad disponible en el MPS” de la semana 2 como el tiempo el “Tiempo de entrega” es 1 semana, por lo tanto, en la semana 2 la “Cantidad disponible en el MPS” es “0”.

Refrigerador R-500		Política de pedidos: 75 Tiempo de entrega: 1 sem									
		Semanas									
Cantidad a la mano: 45		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico		35	35	30	30	35	35	35	30	30	30
Pedidos de los clientes (registrados)		38	27	30	40	50	50	50	50	20	25
Cantidad proyectada a la siguiente sem.	67	32									
Cantidad disponible en el MPS	60	0									
Iniciar el MPS	0										

Para calcular la cantidad de “Iniciar el MPS” en la semana 2 se debe tomar en cuenta la cantidad que haya en “Cantidad proyectada la siguiente semana” que es 32 refrigeradores. Se debe preguntar ¿32 cubre la siguiente semana? como es 30, la respuesta es: sí cubre, entonces no hay necesidad de colocar 75 en “Iniciar el MPS” y quedará como 0.

Refrigerador R-500				Política de pedidos: 75						
				Tiempo de entrega: 1 sem						
Cantidad a la mano: 45	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	35	35	30	30	35	35	35	30	30	30
Pedidos de los clientes (registrados)	38	27	30	40	50	50	50	50	20	25
Cantidad proyectada a la siguiente sem.	67	32	2							
Cantidad disponible en el MPS	60	0	0							
Iniciar el MPS	0	0								

En la semana 2, tenemos disponibles 32, de los que se van al cliente 30 en la semana 3, entonces quedan $30 - 2 = 2$ refrigeradores que no son suficientes para cubrir la semana 4, porque se necesitan 40, por lo tanto, debe activarse la cantidad en “Iniciar el MPS” colocando 75 refrigeradores. Estos 75 se reflejan como “Cantidad disponible en el MPS” en la siguiente semana 3.

Refrigerador R-500					Política de pedidos: 75					
					Tiempo de entrega: 1 sem					
Cantidad a la mano: 45	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	35	35	30	30	35	35	35	30	30	30
Pedidos de los clientes (registrados)	38	27	30	40	50	50	50	50	20	25
Cantidad proyectada a la siguiente sem.	67	32	2							
Cantidad disponible en el MPS	60	0	0	75						
Iniciar el MPS	0	0	75							

Nota: Como aclaración, la cantidad en “Iniciar el MPS” no es cantidad física, sino una orden de producción que, transcurrida una semana para fabricarse y se convierte en cantidad física o “Cantidad disponible en el MPS”.

Siguiendo esta secuencia en 10 semanas en este diseño del MPS, queda como sigue:

Refrigerador R-500					Política de pedidos: 75					
					Tiempo de entrega: 1 sem					
Cantidad a la mano: 45	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	35	35	30	30	35	35	35	30	30	30
Pedidos de los clientes (registrados)	38	27	30	40	50	50	50	50	20	25
Cantidad proyectada a la siguiente sem.	67	32	2	37	62	12	37	62	32	2
Cantidad disponible en el MPS	60	0	0	75	75	0	75	75	0	0
Iniciar el MPS	0	0	75	75	0	75	75	0	0	0

Significa que la gente de producción no necesita empezar a producir la semana 1 y 2, sino que producirá en la semana 3 y 4, y volverán a producir en las semanas 6 y 7.

Una vez calculado el MPS, todas las cantidades de “inicio de MPS” es la parte más importante, ya que son las ordenes de producción para el personal de ese departamento, eso es, en esencia el Programa Maestro de Producción o MPS.

Con esta información ya existe un Programa Maestro de Producción disponible y por lo tanto se activarán otros departamentos, como la compra de los recursos necesarios o lista de materiales que se verá en el siguiente capítulo 3.

2.4. Cantidades disponibles para promesa.

Existe otro tema muy importante para la planeación de la producción que está relacionado con el personal de mercadotecnia, especialmente con el departamento de ventas. Esta información proporciona información muy valiosa al personal de ventas. Este personal puede hacer arreglos de negociación de fechas con los clientes para las entregas de productos.

El termino es “Available To Promise” o ATP, significa cantidades de inventario disponible para promesa y según (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) Se trata de la diferencia entre los pedidos de los clientes ya registrados y la cantidad total que operaciones está planeando producir. A medida que se acepan nuevos pedidos de clientes, el inventario ATP se reduce para reflejar el compromiso que ha adquirido la empresa con respecto a la entrega de esas cantidades, pero el inventario real permanece sin cambio alguno hasta que el pedido sea retirado del inventario para enviarlo al cliente.

Para entender mejor este concepto se puede usar la tabla anterior del MPS, solo que ahora le agregamos el renglón ATP.

Antes de empezar a calcular la cantidad disponible para promesa, se debe tomar en consideración que se tomará en cuenta solo la “Cantidad a la mano”, los “Pedidos de los clientes (registrados)” y la “Cantidad disponible en el MPS”, *el pronóstico ya no se usa, ni la política de pedidos.*

Refrigerador R-500					Política de pedidos: 75									
					Tiempo de entrega: 1 sem									
Cantidad a la mano: 45					Semanas									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico					35	35	30	30	35	35	35	30	30	30
Pedidos de los clientes (registrados)					38	27	30	40	50	50	50	50	20	25
Cantidad proyectada a la siguiente sem.					67	32	2	37	62	12	37	62	32	2
Cantidad disponible en el MPS					60	0	0	75	75	0	75	75	0	0
Iniciar el MPS					0	0	75	75	0	75	75	0	0	0
ATP														

La semana 4 hay 75 refrigeradores de “Cantidad disponible en el MPS”, por lo tanto, la semana 4 debe registrar un ATP, en este caso es $ATP=75-40=35$, porque 75 solo dura 1 semana.

La semana 5 también registra otro ATP ya que hay una “Cantidad disponible en el MPS” de 75 que dura 2 semana y queda como $ATP=75-50-50=-25$, solo se le restan las ventas, pero debido a que los inventarios disponibles para promesa no pueden ser negativos, porque no hay nada, no existen, en realidad -25, son 25 faltantes, entonces para la semana 5 el ATP es 0.

Ahora seguimos hasta la semana 7 porque allí hay una “Cantidad disponible en el MPS” que solo dura 1 semana y debe ser $ATP=75-50=25$ refrigeradores.

En la semana 8 la “Cantidad disponible en el MPS” de 75 dura desde la semana 8 hasta la 10, por tanto, debe restarse todos los pedidos de los clientes (registrados) a 75, quedando: $ATP=75-50-20-25=-20$, pero como no puede haber un ATP negativo, queda como 0.

Refrigerador R-500					Política de pedidos: 75						
					Tiempo de entrega: 1 sem						
Cantidad a la mano: 45	Semanas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pronóstico	35	35	30	30	35	35	35	30	30	30	
Pedidos de los clientes (registrados)	38	27	30	40	50	50	50	50	20	25	
Cantidad proyectada a la siguiente sem.	67	32	2	37	62	12	37	62	32	2	
Cantidad disponible en el MPS	60	0	0	75	75	0	75	75	0	0	
Iniciar el MPS	0	0	75	75	0	75	75	0	0	0	
ATP	10			35	0		25	0			

Cuando ocurre que los pedidos de los clientes son superiores a las cantidades de ATP calculadas, será necesario modificar el MPS para poder registrar dichos pedidos, o no habrá más remedio que prometer a los clientes una fecha de entrega posterior (para cuando se reciba la siguiente cantidad en el MPS), (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

2.5. Congelación del MPS.

Algunas veces sucede que cuando se modifican las cantidades en el MPS cuesta caro, porque cualquier modificación altera los planes de producción y no se debe fallar al cliente. Por ejemplo, cuando hay una reducción en las cantidades del MPS, se producirán inventarios ociosos que se van a utilizar solo cuando se necesite. Por otro lado, cuando hay un aumento en el MPS pueden causar que haya desabasto de materiales, ya que éstos fueron comprados de acuerdo al plan del MPS y ahora se necesita más material, y esto provocará retrasos en las entregas y costos excesivos en el despacho de materiales, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

Debido a estas razones muchas empresas acostumbran congelar el MPS y no permiten que se le hagan cambios a corto plazo.

2.5.1. Suavización exponencial.

(Heizer & Render, 2004) “Es un método que se considera, según los expertos, dentro de la categoría de promedios móviles ponderados. Su aplicación es muy usada por la sencillez, ya que se

necesitan muy pocos datos históricos. Se dice que entre más antiguos son los datos, menos importancia tienen estos. La suavización exponencial es entonces el método ideal para darle solución a ese paradigma”.

Su fórmula es:

$$\text{Pronóstico nuevo} = \text{Pronóstico del periodo anterior} + \alpha \left(\text{demanda real del mes anterior} - \text{Pronóstico del periodo anterior} \right)$$

Forecast (F)= Pronóstico (P).

$$P_t = P_{t-1} + \alpha(D_{t-1} - P_{t-1})$$

“donde: Alfa (α) es la constante de suavización”.

$$P_t = \text{Pronóstico nuevo}$$

$$P_{t-1} = \text{Pronóstico anterior}$$

$$\alpha = \text{Constante de suavización}$$

$$D_{t-1} = \text{Demanda real del mes anterior}$$

Cuando α es 0, el Pronóstico nuevo P_t es igual al Pronóstico anterior P_{t-1} , cuando α es 1, el Pronóstico nuevo P_t es igual a la Demanda real del mes anterior D_{t-1} . Significa entonces, que el alfa α debe tener valores mayores a 0 y menores a 1.

El administrador conociendo esto decidirá que alfa α utilizar. Por ejemplo, si ve que los datos de la demanda D están aumentando, le conviene usar un alfa α entre 0.5 y 1. Pero si los datos van disminuyendo deberá decidir usar un α entre 1 y 0.5.

Cuestionario de evaluación.

Diseñe el plan maestro de producción, de cada una de las tablas siguientes y determine qué días se va a meter la orden de producción (inicio del MPS), asimismo determine qué semanas habrá inventario para promesa ATP).

Elemento:		Política de pedidos: 50 unidades							
Mesa redonda		Tiempo de Entrega 1 sem							
Cantidad a la mano: 50		1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico		19	17	24	25	9	26	5	35
Pedidos de los clientes (registrados)		7	18	14	11	20	10	30	0
Inventario proyectado a la mano									
Cantidad del MPS		10							
Inicio del MPS									
ATP									

Elemento:		Política de pedidos: 80 unidades							
Silla metálica		Tiempo de Entrega 1 sem							
Cantidad a la mano: 80		1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico		66	73	70	46	35	50	50	50
Pedidos de los clientes (registrados)		40	12	80	0	52	75	0	0
Inventario proyectado a la mano									
Cantidad del MPS		70							
Inicio del MPS									
ATP (Inv. Disp. para promesa)									

Tema 3

Planeación de Requerimiento de los Materiales.

3.1 Planeación de Requerimiento de Materiales.

El éxito de cualquier empresa de manufactura reside en una bien estructurada y definida planeación y organización. Aquí vamos hablar de los recursos que la compañía utiliza para que todos los materiales e insumos estén disponibles en el momento que se necesiten. La planeación de requerimiento de materiales es realizada con mucha precisión. Cualquier faltante de un componente provoca que el producto final no se complete y no pueda ser entregado al cliente.

El MRP por sus siglas en inglés Material Requirements Planning o en español llamado Planeación de Requerimiento de Materiales es un sistema para saber exactamente las cantidades que requiere el área de fabricación para manufacturar un producto. Desde que aparecieron las computadoras en el mundo de la fabricación, ha habido muchos avances en el sistema MRP y siguen estos sistemas evolucionando.

Para fabricar un producto usando el MRP, se parte de la demanda independiente, es decir productos únicos que van dirigidos al cliente, de ahí en adelante se hacen los componentes que son de demanda dependiente, porque depende del producto final. Por ejemplo, si se hiciera una bicicleta la demanda de esta sería una demanda independiente y a partir de ahí sus componentes, como las ruedas, los pedales, la transmisión, los frenos, etc., serían demanda dependiente, porque la cantidad de estos elementos dependen del número de bicicletas que se quieran fabricar. La bicicleta sería el producto padre, por ser el principal. Si se quisieran fabricar 10 bicicletas, se tendrían que tener 20 ruedas, 10 manubrio, 20 aros para las ruedas, 20 llantas de goma con sus respectivas 20 cámaras, 1 cuadro, etc.

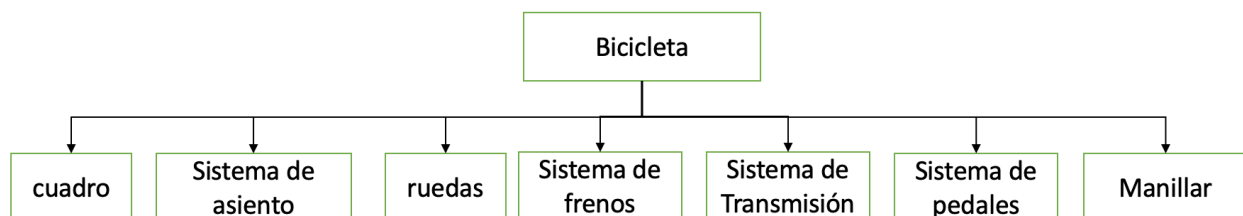


Figura 3. 1 MRP sencillo con los componentes de una bicicleta.

El elemento **Padre** es la bicicleta y sus elementos o componentes son el primer nivel, debajo de la bicicleta: el cuadro, sistema de asiento, ruedas, sistema de frenos, etc.

Sin embargo, en algunos de los componentes habrá todavía un nivel más abajo (nivel 2), por ejemplo: el sistema de asiento lo comprendería el tubo de asiento y el sillín; asimismo se puede

saber que las ruedas están compuestas de aros y llantas con sus respectivas cámaras, pero más debajo de los aros (nivel 3), está todavía los rayos de los aros, y todavía falta el cassette para la rueda trasera para ensamblar la cadena y el sistema de transmisión.

Para entender mejor lo que estamos diciendo, ilustremos un MRP con toda la explosión de necesidades o materiales que se requiere con un ejemplo sencillo.

En el libro de administración de la producción de (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008), usa el ejemplo de una silla de madera, tipo escalera y la va desmenuzando hasta conseguir cada uno de sus componentes.

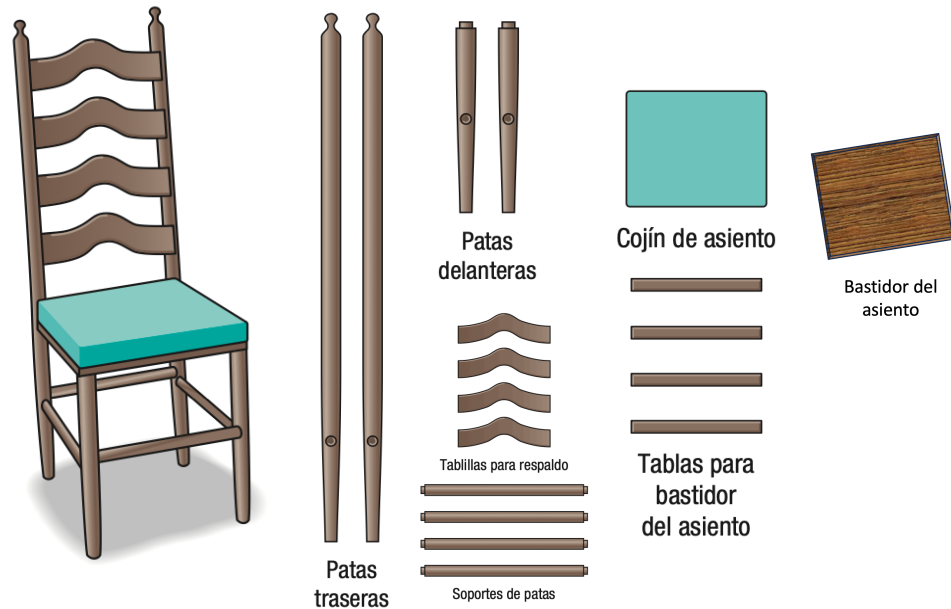


Figura 3. 2 La silla como Padre y sus componentes, cortesía de (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

Por ejemplo, la subunidad de asiento está compuesto de 1 bastidor de asiento y 1 cojín de asiento, y a su vez el bastidor del asiento se compone de 4 tablas del bastidor.



Figura 3. 3 Subunidad de asiento.

Para comprender mejor este ejemplo la ingeniería se encarga de hacer una “Lista de Materiales” llamada BOM (Bill Of Materials), que en realidad es una explosión de necesidades del MRP, haciendo una analogía con una explosión.



Construyendo la lista de materiales.

Se parte del elemento Padre (A) y sigue hacia abajo con todos sus componentes, poniéndoles letras a cada componente, para este caso se sigue el abecedario, como sigue:

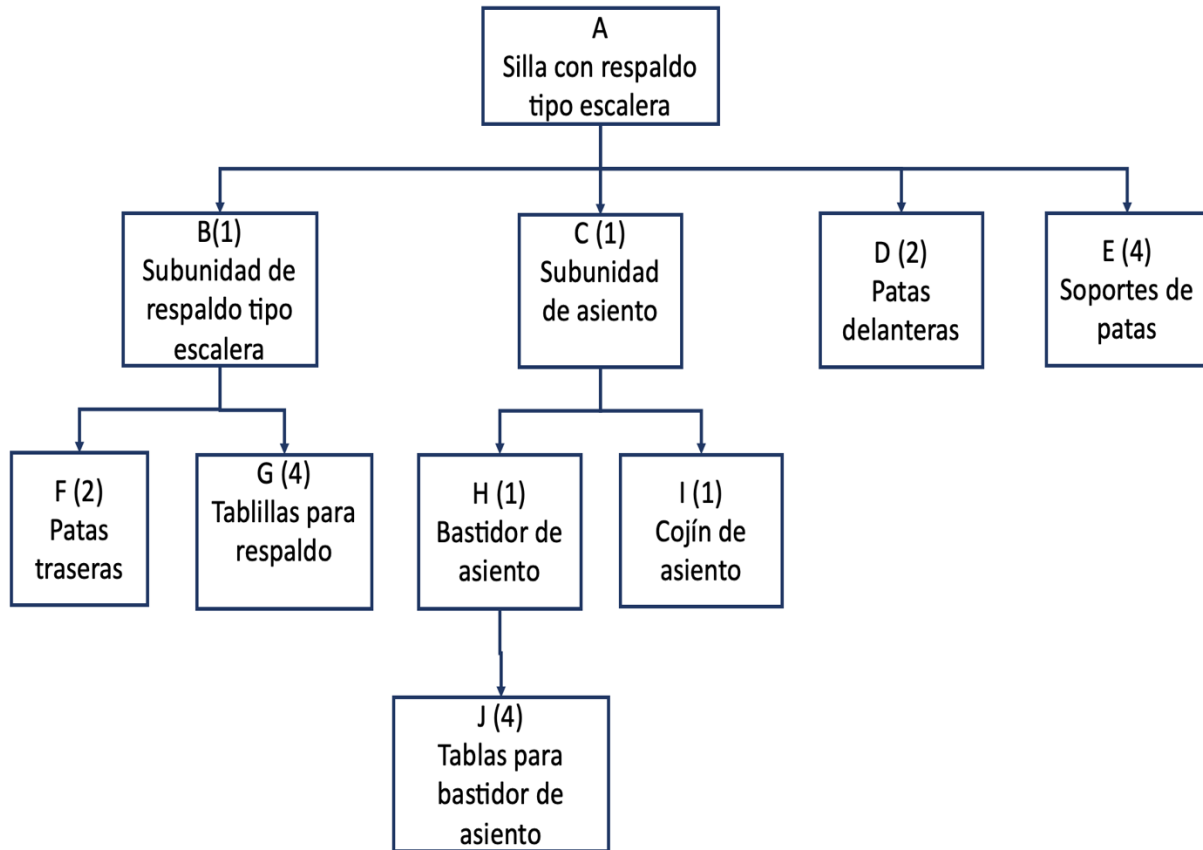


Figura 3. 4 Lista de materiales o BOM de la silla con respaldo tipo escalera, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

La explosión de necesidades o BOM en forma de lista es:

A = 1 unidad.

F= 2 patas traseras.

B= 1 sub-unidad de respaldo tipo escalera.

G= 4 tablillas de respaldo.

C= 1 subunidad de asiento.

H= 1 Bastidor de asiento.

D= 2 patas delanteras.

I= 1 cojín de asiento.

E= 4 soportes de patas.

J= 4 tablas para bastidor de asiento.

Hay una forma más sencilla y a la vez más completa de manejar el BOM o lista de materiales, incluyendo sus niveles y sus tipos de elementos padres y elementos comprados, como se muestra en la Figura 3.5.

Los elementos padres son todos aquellos que están compuestos por otros elementos, como el B, C y G, mientras que los elementos comprados son los que, debajo de ellos no hay nada que los soporte o construya, como D, E, F, G, I y J.

Se llaman elementos intermedios aquellos que tienen un padre o más, dependiendo del caso, por ejemplo, el B, C y H son elementos intermedios, porque tienen un padre solamente.

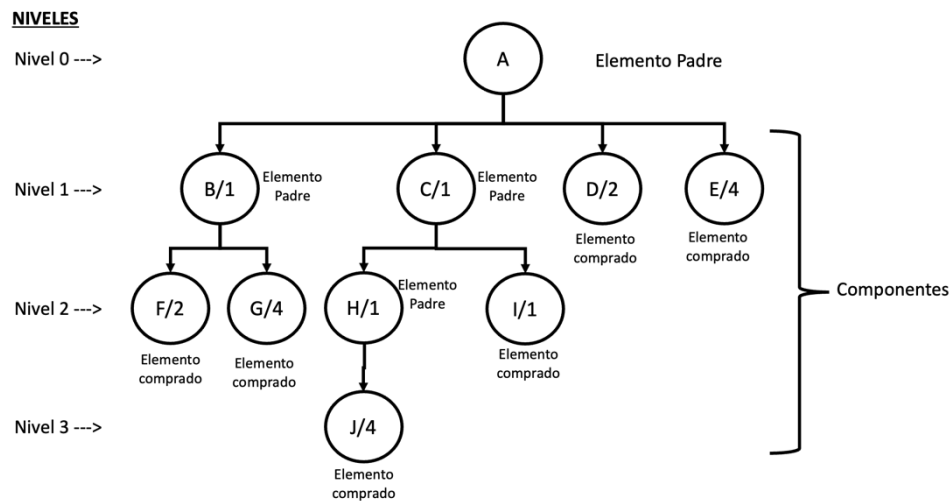


Figura 3. 5 BOM o Lista de materiales del MRP, con sus niveles y tipo de elementos.

El BOM puede hacerse en “forma de lista” con sus cantidades. El nivel 1 tiene dos números que se multiplican, a diferencia del nivel 2 que tiene 3 y el nivel 3 tiene 4 números que se multiplican, esto debe darle instrucciones precisas al software, como sigue:

$$\begin{array}{ll}
 A = 1 & F = 1 \times 1 \times 2 = 2 \\
 B = 1 \times 1 = 1 & G = 1 \times 1 \times 4 = 4 \\
 C = 1 \times 1 = 1 & H = 1 \times 1 \times 1 = 1 \\
 D = 1 \times 2 = 2 & I = 1 \times 1 \times 1 = 1 \\
 E = 1 \times 4 = 4 & J = 1 \times 1 \times 1 \times 4 = 4
 \end{array}$$

Figura 3. 6 BOM en forma de lista con sus cantidades.

Ejemplo

Si se tuvieran que producir 25 sillas, el software de MRP hace los cálculos del BOM como se muestra a continuación:

$$\begin{array}{ll}
 A = 25 & F = 25 \times 1 \times 2 = 50 \\
 B = 25 \times 1 = 25 & G = 25 \times 1 \times 4 = 100 \\
 C = 25 \times 1 = 25 & H = 25 \times 1 \times 1 = 25 \\
 D = 25 \times 2 = 50 & I = 25 \times 1 \times 1 = 25 \\
 E = 25 \times 4 = 100 & J = 25 \times 1 \times 1 \times 4 = 100
 \end{array}$$

Con esto, la lista de materiales quedaría debidamente integrada, pero ahora falta otros detalles para saber cuándo se van a entregar las sillas. *LT* proviene del inglés “Lead Time” y significa Tiempo de Entrega. En este caso el padre principal A necesita 2 semanas para ensamblarse a partir de B, C, D y E.

También elemento padre B necesita 1 semana para fabricarse, siempre y cuando tenga los elementos F y G. Lo mismo sucede con el elemento padre C que se puede ensamblar en 1 semana, y que tenga los componentes H y el elemento comprado I.

El elemento padre H se ensambla en 2 días, pero necesita que se hayan comprado los 4 elementos de J, ver Figura 3.7.

NIVELES

Nivel 0 --->

Nivel 1 --->

Nivel 2 --->

Nivel 3 --->

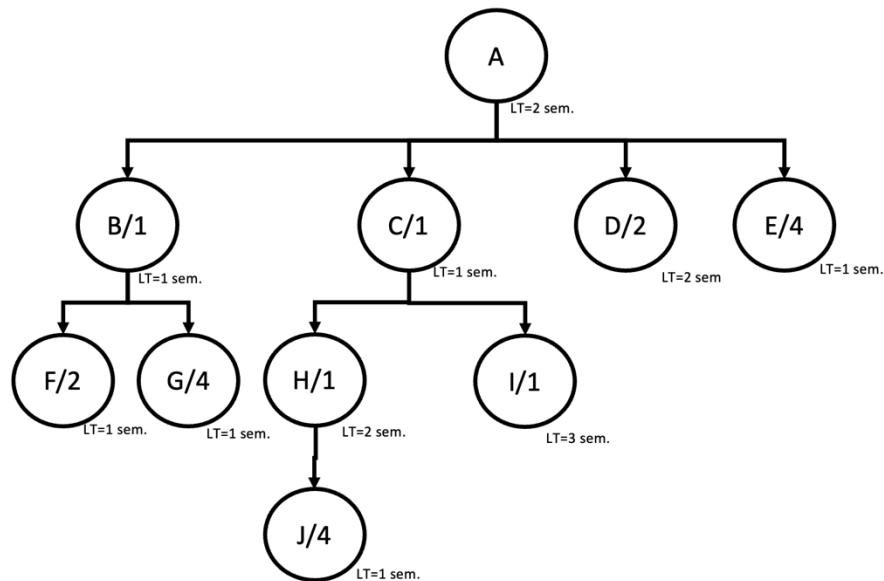


Figura 3. 7 MRP con sus tiempos de entrega LT.

Rutas para obtener fechas de entrega.

Los tiempos de entrega de cada uno de los elementos del BOM se muestran a continuación:

A, 2 sem	B, 1 sem	C, 1 sem	D, 2 sem	E, 1 sem	F, 1 sem	G, 1 sem	H, 2 sem	I, 3 sem	J, 1 sem
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

¿Para qué nos sirven los tiempos de entrega?, la respuesta es para sacar el tiempo que tarda en ensamblarse el elemento principal o padre mayor: A.

Ahora se necesita observar las rutas de todos los componentes. Por ejemplo, en la ruta que pasa por F, B hasta A se suman todos los tiempos de entrega, iniciando con F, 1 semana + 2 semanas de B, + 2 semanas de A, da como resultado en la primera ruta da 4 semanas.

La ruta G, B, A es $1+1+2=4$ semanas.

La ruta J, H, C, A es $1+2+1+2=6$ semanas.

La ruta I, C, A es $3+1+2=6$ semanas.

La ruta D, A es $2+2=4$ semanas.

La ruta E, A es $1+2=3$ semanas.

Nota: todos los elementos deben terminar en el producto final, en este caso: A

La respuesta a la pregunta ¿Cuánto tiempo tarda para ensamblarse una silla o elemento A? se usa la ruta más larga, en este caso es de 6 semanas.

Con estos datos que alimentan el software puede, inclusive hacerse un MPS, para saber cuándo se deben comprar los elementos necesarios.

Una pregunta: ¿qué pasa cuando alguno de los componentes ya están inventario? La respuesta es que el tiempo de entrega de estos elementos es 0.

Tiempos de fabricación y compras, MPS.

Si por ejemplo se tuvieran que producir 25 sillas, el software MRP hace los cálculos del BOM como se muestra a continuación:

$$\begin{array}{ll}
 A = 25 & F = 25 \times 1 \times 2 = 50 \\
 B = 25 \times 1 = 25 & G = 25 \times 1 \times 4 = 100 \\
 C = 25 \times 1 = 25 & H = 25 \times 1 \times 1 = 25 \\
 D = 25 \times 2 = 50 & I = 25 \times 1 \times 1 = 25 \\
 E = 25 \times 4 = 100 & J = 25 \times 1 \times 1 \times 4 = 100
 \end{array}$$

Figura 3. 8 BOM en forma de lista de todos los elementos y sus cantidades.

Por ejemplo, se debe hacer una tabla para cada elemento, incluyendo los días para fabricar el producto principal o elemento A, en este caso 6 días.

Para hacer la tabla 3.1 se debe tener mucho cuidado en añadir un día más al tiempo de fabricación del elemento A, debido a se pierde un día al hacer el MPS. Para construir 25 sillas de A, entonces se parte del día 7 hacia atrás, como se ve a continuación. Cada elemento hay 2 renglones, uno cuando está terminado, que es el renglón superior y el otro es para ordenar su fabricación o compra, que es el renglón inferior.

Debido a que A se construye en 2 semanas, entonces se le debe restar $7-2=5$, significa que en la semana 5 se va a empezar a producir A y se va a terminar en la semana 7. Como A se construye a partir de B, C, D, y E, entonces, estos elementos deben estar listos en la semana 5, por lo tanto, queda como sigue: en la semana 5 deben estar disponibles las cantidades de B, C, D y E como se muestra (B=25, C= 25, D= 50 y E=100).

Tabla 3. 1 MPS y días de compras para cada elemento.

Elementos	1	2	3	4	5	6	7	8
A							25	
					25			
B					25			
				25				
C					25			
				25				
D					50			
			50					
E					100			
				100				

Ahora hay que ver cada tiempo de entrega (*LT*) de todos los elementos, por ejemplo, B, C y E son de 1 semana y D es 2 semanas, como se muestra en la Tabla 3.1.

En la semana 5 se va a fabricar B, por lo tanto, deben estar presentes los componentes F y G en la semana 5, con sus cantidades, y su tiempo de entrega *LT*, pero como F y G que son elementos comprados, duran para comprarse 1 semana, entonces, $5-1=4$.

H está conformado por J, por lo tanto, en la columna del día 2 debe quedar J y debe iniciar una semana antes, (semana 1), como se muestra en la Tabla 3.2:

La Tabla 3.2 muestra cuando se deben fabricar B, C y H, también muestra cuando se debe comprar D, E, F, G, I y J. En realidad, esta Tabla 3.2, define los planes de compra y el MPS a partir del BOM.

Tabla 3. 2 MPS para el resto de los componentes.

Elementos	1	2	3	4	5	6	7	8
A							25	
					25			
B					25			
				25				
C					25			
				25				
D					50			
			50					
E					100			
				100				
F				50				
			50					
G				100				
			100					
H				25				
		25						
I				25				
	25							
J		100						
	100							

Como se ve la primera semana se deben comprar 25 piezas de I, que llegarán hasta la semana 4 y 100 piezas de J, que llegarán en la semana 2. En la semana 2 se comprarán 25 piezas de F y llegarán en la semana 4. En la semana 4 se comprarán 50 piezas de F y 100 de G que llegarán, una semana después, el D se compra en la semana 3 y llega dos semanas después, semana 5 y E se compra en la semana 4 y llega justo cuando se va a ensamblar A, es decir la semana 5.

3.2 Estructura y funcionamiento del Sistema MRP.

Desde antes que las computadoras se integraran a facilitar la vida de los ingenieros de manufactura, ya se hacía la planeación de requerimiento de materiales, de una manera sencilla. Con el paso del tiempo los productos fueron siendo cada vez más complejos, con muchos componentes, como la fabricación de aparatos electrónicos, la radio y todos los aparatos de comunicación.

Aunque los sistemas computacionales son necesarios, el MRP, también se puede hacer manualmente.

En la Figura 3.1, proporcionada por (Render & Heizer, Principios de Administración de Operaciones, 2004) se muestra cómo se estructura el MRP a través del Programa Maestro de

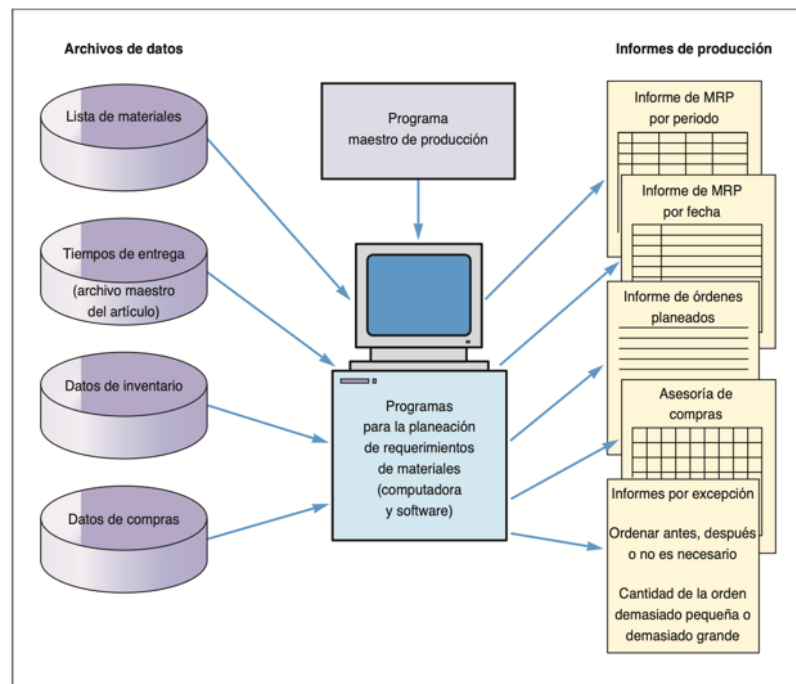


Figura 3. 9 Estructura del MRP según Barry Render y Jay Heizer.

Producción o MPS, la Lista de Materiales llamado también BOM por sus siglas en inglés Bill of Materials, la cantidad de inventarios que existen y las compras que se realizan.

3.3 Estructura y funcionamiento del Sistema MRP II.

Material Requirements Planning es el MRP, al hacerse MRP II su nombre es Material Resource Planning, es decir, en lugar de requerimientos pasa a recursos para ampliarse con más elementos.

Cuando la empresa no solo necesita requerimientos de materiales (MRP), y va más allá al buscar recursos de materiales, el MRP se transforma en MRPII, el cual es una herramienta muy poderosa, ya que incluye no solo los datos de inventario, sino cualquier recurso, como costo de capital o recursos financiero, cuentas por pagar y cuentas por cobrar, horas-trabajo, horas-máquina, etc.

El MRP II es un software que integra la adquisición de materiales o compras, la programación de producción, la planeación de capacidad y administración del almacenamiento, (Heizer & Render, 2004).

3.4 Planeación de los Recursos de la Empresa ERP.

La Planeación de los recursos de la empresa o ERP por sus siglas en inglés “Enterprise Resource Planning” es una evolución del MRP II a través de un software que permite a las empresas hacer una integración de muchos de los procesos de negocios al ir compartiendo una base de datos universal de los informes comerciales en tiempo real.

El ERP hace que se organice todo el negocio de la empresa, pasando por varios procesos desde la evaluación de proveedores inicialmente y hasta la facturación al cliente final. Es decir, también incluye la función financiera, contable, ventas, compras y todo el flujo de información de todos los departamentos involucrados en el negocio.

Es por eso que algunas empresas cuando compran el software ERP solo compran el módulo útil para desempeñar su función. Por ejemplo, el departamento de Recursos Humanos requiere un módulo especializado, ya que ellos no necesitan el de manufactura, control de calidad o finanzas. Aunque algunos módulos del software ERP tienen cierta vinculación, los departamentos específicos no los necesitan.

Últimamente se han desarrollado interfases de terceras partes para el ERP con una demanda tan grande que ahora se le conoce como la industria del software ERP para escribir interfases. Esta nueva categoría de programas con frecuencia recibe el nombre de middleware o software para la integración de las aplicaciones empresariales (EAI, Enterprise Application Integration). El uso de estas interfases hace posible la ampliación de los sistemas ERP con la finalidad de que puedan integrarse con otros sistemas, (Render & Heizer, Principios de Administración de Operaciones, 2004)

Como conclusión: los sistemas ERP integran todas las funciones de la empresa, permiten a la organización visualizar sus operaciones como un todo, en vez de tener que compilar los fragmentos

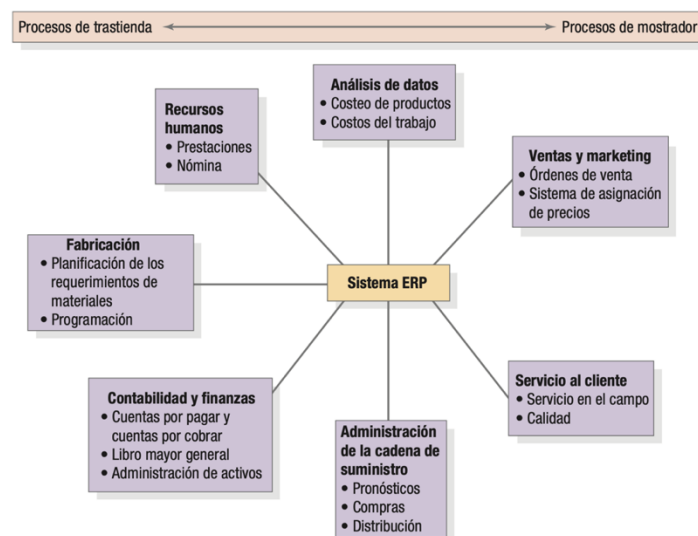


Figura 3. 10 Módulo de aplicación del sistema ERP, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

de información producidos por cada función y división, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

La mayoría de los sistemas ERP de la actualidad usan una interfaz gráfica de usuario, aunque los sistemas viejos, basados en texto y manejados con el teclado, siguen siendo populares por su fiabilidad y sencillez técnica. Los usuarios navegan a través de varias pantallas y menús. La capacitación, por ejemplo, durante la implementación del sistema ERP, se centra en estas pantallas y en enseñar a los usuarios a utilizarlas para desempeñar su trabajo. El principal proveedor de estos paquetes comerciales de ERP, listos para usarse, es SAP AG, una compañía alemana, seguida por Oracle, J. D. Edwards y Baan. (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

3.5 Evolución del MRP a MR PII y a ERP.

Como se ha dicho anteriormente el sistema MRP original, se enfocaba principalmente entre otras funciones, en saber la cantidad de materiales que se requieren para fabricar un producto y las fechas para tenerlo disponible. Debido a que los requerimientos necesitaban más información que los requerimientos de materiales se convirtieron en recursos, como la cantidad de inventario disponible, las cuestiones de capital incluían a otros departamentos involucrados, el MRP evolucionó al MRP II para distinguirlo del MRP original, la R se transformó de Requerimientos a Recursos de materiales, para enlazar el sistema básico con los recursos financieros y otras funciones de la compañía. A medida que estos sistemas fueron avanzando y se integraban varios aspectos como manifestamos en el 3.4 hasta que evolucionó a un sistema de Planeación de Recursos de la Empresa ERP.

3.6 Planeación de Requerimientos de Capacidad CRP.

Existe un problema fundamental en el MRP, este sistema no observa la capacidad cuando calcula los pedidos planeados, MRP supone una capacidad infinita. Y esto puede dar lugar a que se fabrique por encima de la capacidad del sistema de producción.

Hay una técnica para proyectar los requerimientos de capacidad por cada una de las estaciones de trabajo en las operaciones de producción y cuyo propósito es empatar el MRP o requerimiento de materiales con la capacidad de los procesos. Es en realidad un módulo en el software de MRP para planear los requerimientos de capacidad.

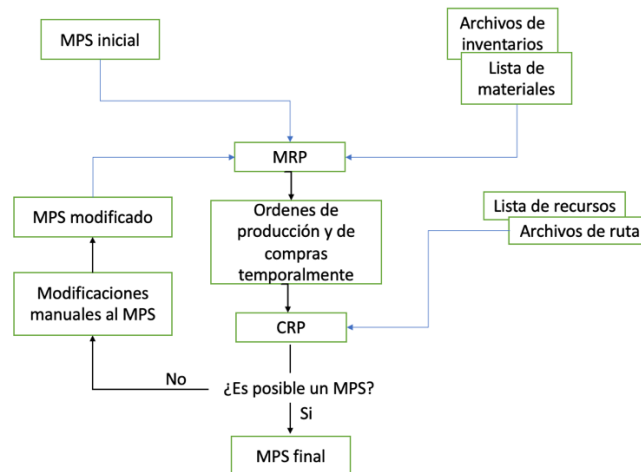
El módulo Planificación de Requerimientos de Capacidad CRP (por sus siglas en inglés Capacity Requirements Planning), emplea ordenes de producción generadas por el MRP para calcular la mano de obra y la maquinaria requerida en cada uno de los centros de trabajo, durante cada periodo de planeación. Luego se compara la capacidad requerida con la capacidad disponible, (Noori & Radford, 2010).

De esta manera se calculan las cargas de trabajo tomando en cuenta los inventarios de pedidos disponibles y que no se han enviado, para evitar cuellos de botella en las estaciones de trabajo.

La Planificación de Requerimientos de Capacidad CRP toma en cuenta las ordenes de producción con todos sus componentes. El MPS solo toma la cantidad de los productos ya terminados, consecuentemente el CRP se integra más al MRP, porque evalúa la capacidad del centro de trabajo y su recurso. Si no es posible fabricar porque el centro de trabajo está sobrecargado,

entonces debe ajustarse manualmente el programa maestro de producción. Además, tiene otra cualidad la Planificación de Requerimientos de Capacidad CRP, puede identificar los componentes que causan la sobrecarga y rastrear estos componentes hasta los productos finales a los cuales pertenecen, (Noori & Radford, 2010).

Entonces el CRP logra que el MRP se haga en circuito cerrado, como muestra la figura siguiente:



Cortesía de, (Noori & Radford, 2010), página 486.

Figura 3. 11 Cierre de ciclo en el MRP.

3.7 MRP en el sector servicios.

Primero definamos, que es una demanda dependiente, por ejemplo, si se fabrica una bicicleta requerirá de muchos elementos, estos elementos dependen de la bicicleta terminada, por ejemplo, el cuadro, la transmisión, las llantas, los frenos, etc., a estos a lo que llamamos demanda dependiente. La bicicleta en sí es demanda independiente, porque es un producto que se ofrece para su venta en el mercado.

En el sector servicios, si por ejemplo uno desea ir a comer a un restaurante, y observa el menú de comida, cada uno de esos productos que ofrece el restaurante requiere, dependiendo del platillo, que le sirvan pan o tortillas, o alguna ensalada y aderezo, refresco o agua de sabor. Todos estos productos que conforman el platillo son de demanda dependiente.

Por ejemplo, en el servicio de educación, si un estudiante de preparatoria desea seguir con sus estudios a nivel profesional para graduarse como ingeniero, los servicios que ofrece el tecnológico o universidad son los salones de clase, pupitres, pizarrón, biblioteca virtual o física, maestros clasificados para cada una de las asignaturas, personal de cada departamento para tramitar las necesidades del estudiante y requiere que el alumno apruebe las materias reticulares y otros requisitos. Estos servicios son de demanda dependiente, porque dependen de los requisitos generales para obtener el título.

La Figura 3.3 muestra la estructura para hacer enchiladas, sin incluir el refresco u otros agregados que ofrecen los restaurantes de la localidad y que se cobran aparte.

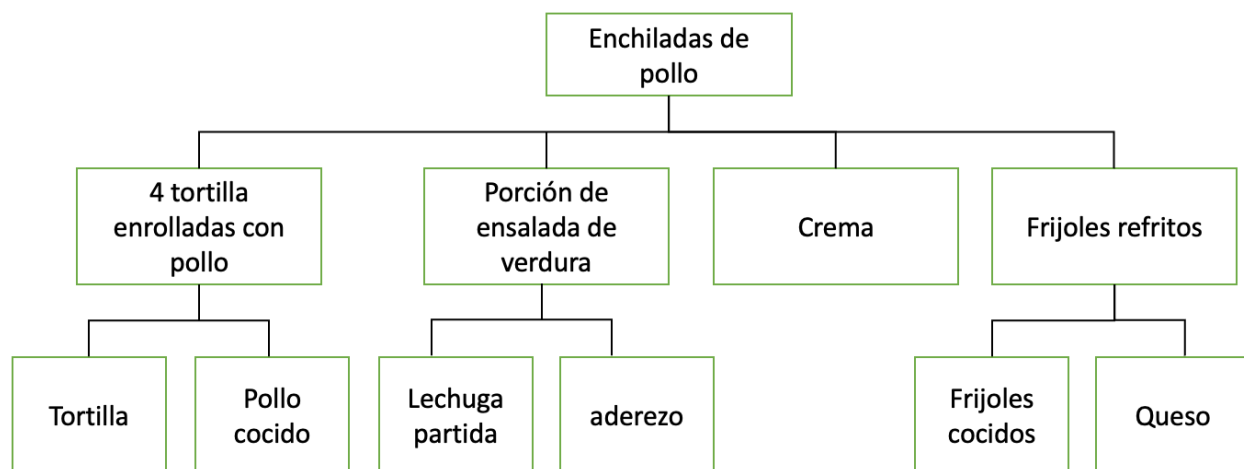


Figura 3. 12 Estructura de un producto en el sector servicios de restaurante.

3.8 Planificación de los Recursos de Distribución DRP.

El automóvil por sí mismo pertenece a la demanda independiente porque solamente depende del mercado, pero los productos que lo componen son demanda dependiente, porque dependen de ese automóvil.

En la cadena de suministro hay técnicas para la demanda dependiente de productos o componentes de un producto para la venta. Esta técnica es DRP por sus siglas en inglés (Distribution Resource Planning), y es usada para hacer planes escalonados de abastecimiento del inventario, en la cadena de suministro, en todos los niveles.

3.8.1 Estructura de la DRP.

Según (Heizer & Render, 2008) DRP requiere los siguientes elementos:

- 1) Requerimientos globales, que son iguales a la demanda esperada o los pronósticos de ventas.
- 2) Niveles mínimos de inventario para satisfacer los niveles de servicio al cliente.
- 3) Tiempos de entrega precisos.
- 4) Definición de la estructura de distribución.

En la planeación de recursos de distribución, la demanda esperada se convierte en requerimientos globales.

El DRP valora primero los pronósticos en el último eslabón de la cadena suministro, es decir, las ventas al menudeo. Luego se calcula cada uno de los niveles de esta cadena, después se revisa el inventario que existe para ver si satisface la demanda para que no falte, de acuerdo a los requerimientos de la demanda. Si llega a faltar material se emitirá una orden de producción. El DRP funciona como un sistema de jalón que inicia desde el nivel más lejano de la cadena suministro, o sea el nivel de minoristas, luego se va haciendo a un nivel más arriba de la cadena de suministro, según el inventario existente para poder hacer los ajustes y que salga la emisión de órdenes

lo más económicamente posible. Su meta es reabastecer el inventario en cantidades pequeñas y frecuentes, (Render & Heizer, Principios de Administración de Operaciones, 2004)

Cuestionario de evaluación.

Problema para resolver:

1) El elemento A se fabrica a partir de dos unidades de B, dos de C y una de D; mientras que el subensamble C se hace de una unidad de E y dos de F; por otra parte, el elemento intermedio D se hace a partir de una unidad de E, dos de F y una unidad de G y a su vez G se fabrica de dos unidades de H.

Los tiempos de entrega son en semanas: A: 1 sem, B: 4 sem, C: 2 sem, D: 3 sem, E: 2 sem, F: 3 sem, G: 1 sem y H 1 sem.

a) Haga el BOM gráfico.

b) Realice el BOM detallado para 30 unidades terminadas del producto A.

c) ¿Cuál es el tiempo de entrega para el producto A? _____

d) ¿Cuál es el tiempo de entrega para el producto A si existen en inventario el elemento F? _____

e) ¿Cuántos y cuáles son los elementos comprados? _____

f) ¿Cuántos y cuáles son los elementos padres de F. _____

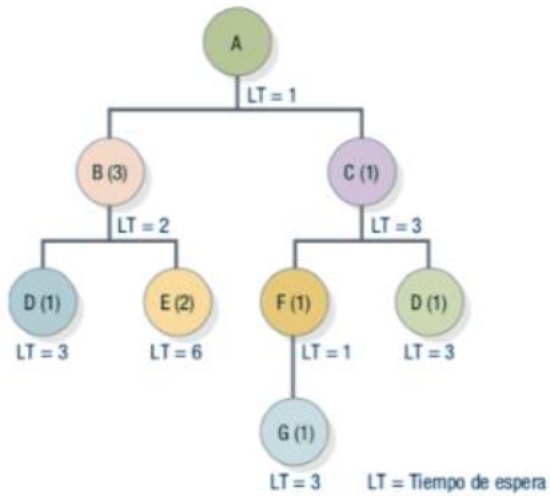
g) ¿Cuántos y cuáles son los elementos padres de E. _____

h) Obtenga el MPS de la tabla siguiente, indicando la “cantidad del MPS” y el “inicio del MPS”.

A partir de la siguiente tabla, se debe realizar el BOM, b).

Elementos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A													
B													
C													
D													
E													
F													
G													
H													
I													
J													
K													
L													

2) Obtener el BOM detallado y el MPS para 25 unidades del producto A, de la siguiente figura.



- 3) ¿Cuál es la diferencia entre MRP, MRPII y ERP?
- 4) Hay una técnica para proyectar los requerimientos de capacidad por cada una de las estaciones de trabajo en las operaciones de producción y cuyo propósito es empatar el MRP o requerimiento de materiales con la capacidad de los procesos. ¿Cómo se llama a esta técnica?
- 5) ¿Qué es el DRP y para que se usa?

Tema 4

Sistema Justo a Tiempo (JIT)

Una Definición de Justo a Tiempo o JIT “Just in Time” por sus siglas en inglés, es la eliminación del desperdicio y la mejora continua. Entendiéndose como desperdicio a todas aquellas actividades que no agregan valor al producto, solo costo.

Los japoneses tienen como objetivo la producción “Justo-A-Tiempo”. Recurren a la ingeniería para reducir drásticamente el tiempo de preparación de las máquinas, de modo que resulte económico trabajar lotes muy pequeños. El ideal es hacer una pieza para la siguiente operación. En términos administrativos, el lote económico (EOQ) se ha reducido hasta aproximarlos a uno, (Schonberger, Técnicas Japonesas de fabricación, 1987).

4.1 Contexto y Filosofía del sistema JIT.

Es Justo a Tiempo es una filosofía que implementó la empresa Toyota en el Japón. Este país se ubica en una pequeña isla, un poco más grande que el Estado de Chihuahua, y que la habitan 127.5 millones de personas (Nippon.com, 2011-2024), aproximadamente la población de México. Esto significa que casi no hay espacios para utilizar los recursos de la tierra, debido a su naturaleza el pensamiento japonés se basa en la economía del espacio. Quizás es por ello que allí se generó el pensamiento de eliminar todo lo que es desperdicio, es decir, espacios no utilizados, inventarios ociosos, trabajadores demás, máquinas sin operar, etc. En este capítulo se verán algunos puntos que pasan desapercibidos a nuestra vista, pero que son desperdicio desde el punto de vista del JIT.

Originalmente al Justo a Tiempo se le llamaba en toda la industria japonesa como sistema de producción Toyota, pero curiosamente dentro de la empresa Toyota le llamaban sistema Kanban. La palabra Kanban, que veremos con mayor detalle más adelante, es un sistema de tarjetas para reposición de materiales. Cuando se necesita material se pone una tarjeta Kanban para indicarle al operador o al personal encargado que se reponga la cantidad que indica la tarjeta. Esto dio tan buen resultado en Toyota, que los mismos trabajadores le pusieron sistema de producción Kanban, pero Kanban es tan sólo una pequeña parte del JIT.

Algún personal de la industria automotriz norteamericana, visitó Japón en los años 60 y quedaron maravillados por el orden que había en Japón. Este personal norteamericano observó que todos los materiales llegaban justo en el momento que se necesitaban y decidieron llevar este método a Norteamérica, entonces le llamaron Justo a Tiempo, porque no le podían poner Sistema de Producción Toyota en la Ford, Chrysler, Chevrolet o American Motors, por ser Toyota la competencia.

El JIT tiene como meta mayor producir solo la cantidad y en el tiempo que pide el cliente, es decir su enfoque es satisfacer las necesidades del cliente, que en cierto sentido es la definición de algunos personajes famosos de la calidad. Esta manera de pensar, les da a las empresas la oportunidad de ser muy competitivos y ganar clientes. Por consiguiente, favorece los cambios dentro de las organizaciones, como mejorar la capacidad de respuesta a las necesidades de los clientes, lo que genera más flexibilidad y credibilidad para lograrlo.

El JIT nunca se puede separar de la calidad, es la calidad lo que hace que el sistema Justo a tiempo sea operable.

Algo muy sobresaliente del sistema JIT japones es producir pequeños volúmenes de productos, muy variables y diferentes, con un pequeño margen de ganancia. En los años 60's y 70's estos conceptos japoneses contrastaban con el pensamiento occidental de producir grandes volúmenes de un solo producto, es decir, si querías un producto no había variedad de productos como ahora. Por ejemplo, en México solo había gasolina marca Pemex. Esta estrategia japonesa disparó su economía por encima de la competencia, ya que ofrecían productos con diferentes características, de acuerdo a las necesidades de los compradores. Un ejemplo son los radios de transistores que se vendían e inundaban el mercado mundial, eran claramente más baratos y de mejor calidad que los aparatos occidentales, después a occidente llegaron una cantidad monstruosa de televisores y otros aparatos electrónicos japoneses bajo este mismo concepto.

Justo a Tiempo es el soporte más importante de la Manufactura Esbelta que es en realidad una evolución del Sistema de Producción Toyota original.

Desde hace algunas décadas se usa mucho el JIT y es la manera de trabajar de la mayor parte de las empresas manufactureras occidentales, porque se ahorran muchos costos, ofrecen productos más baratos, mejoran la calidad y los hace más competitivos. Esa es una de las razones principales de que ahora muchos productos de alta tecnología disfrutamos como consumidores finales.

En el caso de los televisores HD, pasaron desde plasma, LCD y luego LED, aunque su concepción data desde los años 70's y 80's, que en revistas de electrónica como "Popular Electronics" ya se explicaba cómo iban a ser los televisores de pantalla plana, solamente que la manufactura de componentes aún no estaba preparada o no había evolucionado para fabricarlos, solo empezaron a fabricarse pantallas gigantes en los Estadios de Beisbol, Basquetbol, etc., pero sus componentes aún eran muy rudimentarios, es hasta ahora que los diseñadores de los procesos de manufactura han logrado un avance significativo. Estos televisores con señal digital se les fue agregando más características hasta llegar a la televisión de alta definición HD y software incorporado para hacerlas Smart. Los precios son cada vez más competitivos y el tamaño de la TV es cada vez más grande, algo que no esperábamos ver en tan pocos años para nuestro beneficio.

4.2 Estrategias básicas del sistema JIT.

La **reducción del tamaño del lote** entre procesos es la clave principal para iniciar con el sistema de producción Justo-A-Tiempo. Al hacer esto, inmediatamente se reducen los inventarios y el manejo de materiales es más sencillo. Solo que hay un problema, que al reducir el tamaño de lote aparecen problemas que antes no se sabía que existían. Es por eso que a la gente se le debe capacitar para que conozca lo que va a pasar y poder estar preparados para solucionar los problemas que van apareciendo. Por lo que no hay que reducir el tamaño del lote de golpe hasta una

unidad, sino poco a poco, porque si se hace ésto aparecerán demasiados problemas que agobiarán a todos.

La Figura 4.1 se muestra como bajando el inventario se descubren problemas que antes no conocíamos. Por ejemplo, pueden aparecer problemas de desbalanceo entre los trabajadores porque había mucho inventario, ésto no representaba ningún problema porque el trabajador tenía material para trabajar. Los problemas también se presentan como: falta de entrenamiento, máquinas con fallas intermitentes, línea desbalanceada, falta de material o material defectuoso, etc., y lo peor de todo es que si no hay un equipo de trabajo entrenado entre jefes y empleados para resolver estos problemas, estos no se van a solucionar, solo a provocar atorones y otros problemas. Siempre debe haber capacitación y formar equipos de trabajo de solución de problemas. Las empresas más exitosas son las que tienen más horas de capacitación y entrenamiento. La capacitación y el entrenamiento debe ser siempre continuo.

La estrategia es establecer **un sistema para identificar los problemas**, analizarlos y corregirlos para siempre. El sistema JIT busca siempre bajar el nivel de inventario y lograr hacer visibles los problemas ocultos. El JIT se convierte entonces, en un sistema para eliminar los problemas, por lo tanto, se dice que este sistema es la “solución obligada de problemas”.

¿Pero cómo funciona?



Figura 4. 1 El inventario representa al nivel de agua del lago, a medida que baja el agua aparecerán las rocas que son los problemas.

Existe un semáforo en cada una de las líneas JIT, la luz roja advierte que la línea está detenida por razones mayores, la luz amarilla significa que hay pequeños retrasos o demoras, esto hace que la luz se encienda y transcurrido un momento se apaga, porque se corrigió la anomalía rápidamente. La luz verde se enciende casi siempre porque significa que el proceso está sin interrupciones.

En las compañías JIT japonesas a los gerentes no les gusta que haya luces verdes encendidas por periodos de tiempo largo, inclusive todo el turno de producción. El gerente de producción siempre está pendiente de eso, cuando ve una línea que siempre está en verde, su razonamiento es que esta línea tiene muchos problemas ocultos, debido a exceso de gente o inventario. Se dirige rápidamente a la línea y junto con los encargados de producción e ingeniería reduce el inventario por cada proceso. Algunas veces retiran algún operador porque los que quedan pueden perfectamente desarrollar las tareas. Al hacer esto, inmediatamente logran encender las luces amarillas o rojas. Al final del día se ven todos los problemas, se reúnen en pequeños círculos de calidad para resolverlos para siempre.

Cuando se reduce el tamaño de lotes en líneas de producción con **productos mezclados**, los **tiempos de preparación** para cambio de modelo suelen retrasar la velocidad del producto, pero esto también se soluciona usando una técnica para hacer cambios rápidos sin demora, llamado SMED (Single Minute Exchange of Die) traducido al argot de manufactura se puede decir “cambio rápido de troquel o dado en un minuto. En videos de líneas de fabricación de automóviles, en el proceso de pintado, por ejemplo, se pueden estar fabricando autos de un color y el que sigue de otro color, porque usan mezcla de modelos en la misma línea sin perder tiempo entre ellos para cambiar el color de pintura. Los ingenieros modifican los sistemas de intercambio de mangueras y pintura automáticamente, usando una misma boquilla para diferentes colores. Estamos acostumbrados a que los tiempos de preparación son muy tardados y, consecuentemente, aumenta su costo de preparación “Co” llamado también costo de ordenar, como en la Figura 4.2 que ya se estudió en la materia de “Administración de Operaciones I”, en realidad al hacer modificaciones para tener cambios más rápidos, se modifica la curva de costo de preparación, hasta lograr reducir el tamaño de lote, como se ve en la Figura 4.3.

Al usar lotes pequeños, requieren mayor cantidad de operaciones de preparación, entonces las empresas se ven obligadas a reducir sus tiempos de preparación. Sin embargo, cuando algunas de estas empresas no logran reducir los tiempos de preparación, recurren a producir en grandes cantidades o lotes grandes, (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008).

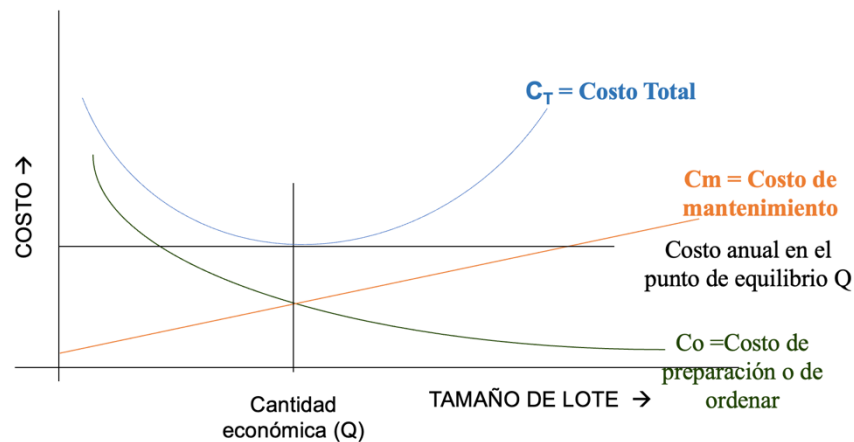


Figura 4. 2 Gráfico original de lote económico.

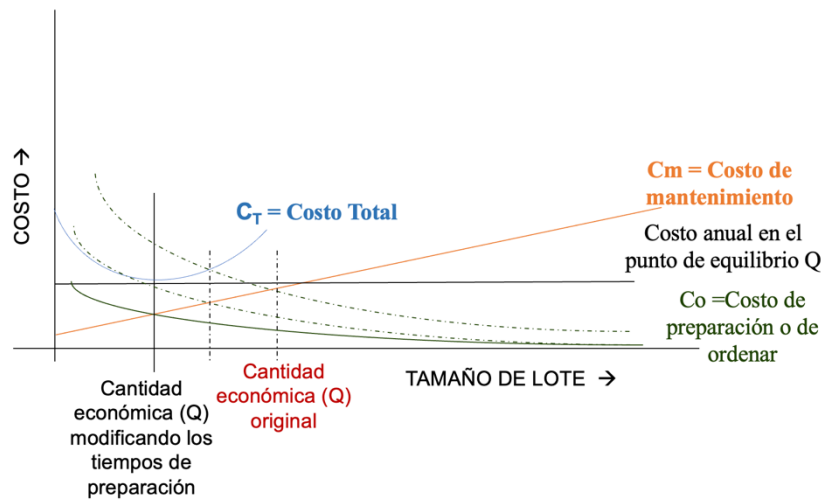


Figura 4. 3 Gráfico con la modificación de los costos de preparación C_o .

Otra estrategia es **reducir los desperdicios**. Los desperdicios, desde este enfoque, es toda aquella actividad que no agrega valor. Entendiéndose como “valor” aquello que solamente está orientado a lo que el cliente quiere. Como ejemplo, si se está acumulando inventario o teniendo fallos, filas, esperas, etc., el cliente no le interesa esto, solo quiere su producto como lo pidió, entonces todas las actividades que se realicen y que no cambian o modifican el producto a lo que el cliente pide, es un desperdicio.

El **desperdicio** se acostumbra llamarle **Muda**, del japones. Los ocho desperdicios (**Muda**) adaptados de Taiichi Ohno (Ohno, 1991):

- 1) *Producir más de lo necesario.*
- 2) *Esperar para el siguiente paso del proceso.*
- 3) *Transportar piezas de un lugar a otro.*
- 4) *Repetir tareas, hacer tareas innecesarias.*
- 5) *Almacenar cosas para utilizarlas después.*
- 6) *Movimientos inútiles, excesivos, innecesarios.*
- 7) *Defectos, fallos, errores, partes mal hechas.*
- 8) *Recursos ociosos o Infrautilizadas.*

Taiichi Ohno considera que la Capacidad actual es igual al trabajo efectivo más el desperdicio. El departamento de ingeniería hace los estudios de tiempos y movimientos y determina la capacidad individual de cada proceso u operador, si no se alcanza ésto, y necesita más tiempo, el tiempo sobrante es desperdicio o muda.

Una estrategia más es el **sistema de jalar (pull)**, contrario a empujar. Jalar se refiere a que una pieza se jala hasta el punto de uso y solo cuándo se necesita. La pregunta es: ¿cómo se establece el sistema de jalón o pull? Las empresas que lo implementan usan señales que pueden ser muy variables como un espacio vacío pintado, que es la señal para llenarlo con una unidad. Actualmente sucede cuando un cliente tiene un percance y pierde su parabrisas, la aseguradora del auto se pone en contacto con la agencia de autos para pedirlo. Cuando la empresa recibe una orden de producción, inmediatamente se activa el sistema pull o jalar, ya que se activan las compras para reponer el material que se requiere y fabricarlo, lo mismo pasa con las partes originales.

JIT vs MRP: para razonar mejor el concepto de empujar, debemos entender que ningún trabajador tiene las mismas habilidades en velocidad para hacer su trabajo, *empujar* es estar acumulando producto al siguiente trabajador, porque no están trabajando a la misma velocidad. El amontonamiento empuja la producción y es también un desperdicio o muda, solo se debe **jalar** el producto llenando los espacios vacíos, el trabajador más rápido debe esperar al más lento para estar en sintonía sin acumulamientos. Otro ejemplo de empujar es cuando el supervisor o encargado de una línea de producción les exige a los trabajadores que cumplan con la cuota diaria u horaria, provocando que todos se apuren individualmente, con esto se rompe la coordinación y el trabajo en equipo. El sistema MRP es otro sistema de empujar porque solo dice las cantidades que hay que producir, sin tomar en cuenta los problemas de cada proceso, aun así, el MRP es muy útil para organizar muy bien todo y saber las cantidades y materiales que se requieren, “pero nunca se debe usar para dirigir una línea de producción”. El JIT es un sistema totalmente humano, funciona solo ayudando a sus compañeros, el MRP es un programa de cómputo, solo da indicaciones, sin saber si hay o no problemas.

Reducir la variación. Todos los productos que se desvían y no llegan justo cuando se necesitan es una variación en el sistema de producción. La variación la provocan los problemas. Entonces la variación es toda aquella desviación que provoca que no se entregue a tiempo un producto que requiere el cliente. La variación puede ser provocada por máquinas, proveedores que no se ajustan a las especificaciones del cliente o que no se entregan justo a tiempo o en cantidades no pedidas, pero también la variación la pueden provocar cualquier empleado, desde el trabajador hasta el gerente. La variación puede ser **invisible** cuando hay mucho inventario. Como conclusión, cuando hay poca variación, habrá menor desperdicio.

La distribución de una planta JIT es otra estrategia muy importante para lograr muchos beneficios. Los ingenieros de otras épocas siempre configuraban las plantas con líneas de producción rectas, y cuando ya no cabían o la línea se topaba con una pared, entonces se hacían en forma de “L” pero siempre corrían un solo producto. En los sistemas JIT se buscan pequeñas fábricas y procesos simples, es por eso que una planta JIT se usan pequeñas **células de manufactura** en forma de “U”, en la que sus trabajadores están por dentro de la U. La planta en su totalidad se ve con muchas células de manufactura en “U”, ver Figura 4.5. Esto les da mucha flexibilidad, porque en cada célula se pueden producir productos por familias, es decir, los productos, aunque son de diferentes modelos o colores, el proceso para producirlos es exactamente igual, por lo tanto, trabajar de esta manera es aumentar la flexibilidad de la planta de manufactura. Siempre se busca el ahorro de espacio y áreas donde se acumulaba el inventario, ahora en su lugar pudiera estar una o varias células de manufactura.

Las células **de manufactura**, ver Figura 4.4, es una gran idea japonesa, debido a que en la célula contribuye a muchos beneficios:

- 1) Un trabajador observa más fácilmente como se va agregando valor al producto.
- 2) La célula hace que los empleados trabajen más en equipo.
- 3) La calidad mejora notablemente debido a que, si un producto está mal hecho, se puede fácilmente regresar al lugar donde se produjo el problema.
- 4) El nivel de inventario baja notablemente debido a que cada estación de trabajo solo necesita una pieza para trabajar en ella.

- 5) Los trabajadores al ver a sus demás compañeros se motivan a aprender las tareas de los demás, esto lo aprovechan los administradores para dar estímulos a los trabajadores con más dominio de tareas, provocando operadores multifuncionales, esencial para alcanzar mayor flexibilidad.

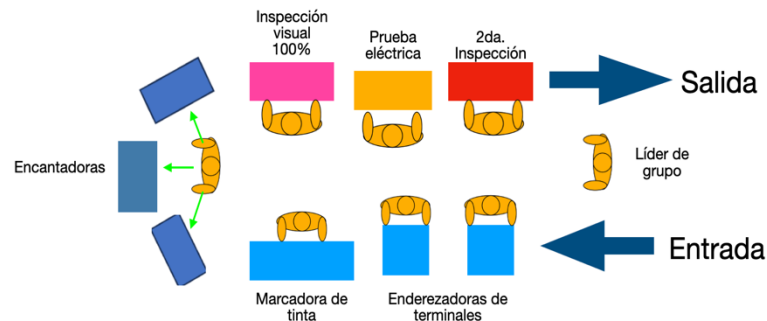


Figura 4. 4 Distribución de Célula de Manufactura en la empresa Unitrode en Chihuahua.

Una planta con muchas células de manufactura simula muchos pequeños procesos, haciendo un producto final. En una planta puede haber muchas pequeñas plantas, como se aprecia en la Figura 4.5.

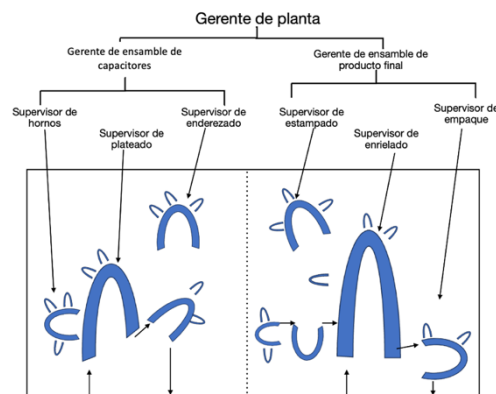


Figura 4. 5 Distribución de una planta con células de manufactura.

Se produce un enriquecimiento del trabajo ya que se asignan más tareas a un trabajador, de tal manera que se promueva a los trabajadores multifuncionales o polifacéticos, con esto se busca mayor flexibilidad para adaptarse a las necesidades de la empresa y del cliente. Desde luego esto se hace con un plan de capacitación y entrenamiento continuo.

En cuanto al Mantenimiento Productivo Total (PMT) es dejar toda la responsabilidad al departamento de producción, cada trabajador es responsable de su máquina y de mantenerla en buenas condiciones y avisar a mantenimiento cuando algo está mal y que no puede corregirlo.

El JIT solo puede funcionar con el Control Total de Calidad, sin embargo, el TQC no necesita al JIT para funcionar, ya que se puede implementar en muchos tipos de actividades

En las compañías justo a tiempo se busca pasar todas las responsabilidades de la calidad en mano de la gente de producción, pues son ellos los que hacen la calidad. El departamento de calidad tiene muchas actividades que hacer en lugar de estar revisando lo que hace producción, por

ejemplo, revisar el estado de la maquinaria, revisar procedimientos correctos, supervisar a trabajadores, nuevos y ayudarles, hacer pruebas de calidad de los productos y muchas otras cosas que se siguen haciendo.

4.3 Metas del sistema JIT.

El sistema Justo-A-Tiempo es en realidad una filosofía de solución obligada de problemas para lograr todas las metas que se propone la compañía.

Una de las metas del JIT son lograr que la empresa sea más productiva y ofrezca productos de alta calidad a un precio más bajo para dominar el mercado. Para lograr ésto se necesitan algunas acciones, como:

- a) Producir un producto a la vez, para que el operador no tenga amontonamientos de partes.
- b) Reducir del tamaño de lotes, si es posible hasta una unidad. Cuando la naturaleza es producir a gran velocidad, como resistencias, capacitores y muchos componentes electrónicos, difícilmente se pueden tener lotes de una unidad, en este caso se usan pequeños contenedores haciendo una simulación para que cada contenedor se maneje como una unidad.
- c) Eliminar toda actividad que no aporta nada al producto, es decir, reducir el desperdicio.
- d) Se busca la proximidad física de los procesos, pero también la cercanía de proveedores para reducir el tiempo de movimiento de materiales y envío de materias primas.
- e) Tener un lugar limpio, ordenado y acomodado para no perder tiempo buscando partes.
- f) Reducir los inventarios ociosos que no contribuyen en nada al producto final.
- g) Entrenamiento cruzado para lograr tener trabajadores multifuncionales y mayor flexibilidad.
- h) Reordenar las líneas de producción para que se surta el material justo cuando se necesite.

4.3.1 Los 7 Ceros

El sistema de producción Justo a Tiempo es un sistema de producción enfocado principalmente en la calidad en búsqueda de la mejora continua, por lo tanto, se trata de reducir todo aquello que es desperdicio y lograr llegar a 7 ceros:

- 1) **Cero inventarios.** Las existencias de materiales y productos terminados y semiterminados cuando no se usan, son demasiado costosos, solo son gastos de todo tipo, como: inventarios obsoletos, que cuestan menos al paso del tiempo ya que se degradan, ocupan espacio que puede ser usado para nuevas líneas de producción, necesitan mayor control, porque los inventarios son dinero invertido sin uso.
- 2) **Cero defectos.** Se pone como meta primordial eliminar todo tipo de errores y fallos, desde luego esto es casi imposible, pero la búsqueda incansable de mejorar continuamente se va acercado cada vez más a esta meta.
- 3) **Cero accidentes.** Sabemos muy bien que un accidente es algo indeseable que capta toda la atención de la empresa porque se pueden dañar el personal, los equipos y la compañía.
- 4) **Cero averías.** Se refiere a evitar que fallen los equipos o maquinaria del proceso, haciendo un mantenimiento preventivo y predictivo para no tener que llegar al mantenimiento correctivo.
- 5) **Cero retrasos.** Esto se logra cuando se cumplen las otras condiciones, pero es una búsqueda implacable contra todo tipo de retraso, ya que es un desperdicio.

- 6) **Cero papeleo.** El papeleo es otra forma de inventario, tener muchos documentos esperando autorización en el escritorio es una pérdida de tiempo inútil, es mejor simplificar los procesos y delegar más autoridad a los empleados.
- 7) **Cero contaminación.** Es bien sabido que se requiere contribuir con el medio ambiente, evitando y reduciendo actividades contaminantes.

Siempre hay espacio para mejorar en todas las áreas, aunque parece muy ideal obtener estos ceros, en las empresas JIT hay una lucha implacable y constante para lograrlo.

4.4 Elementos del sistema JIT.

Hay muchos impedimentos para fabricar lotes pequeños, uno de ellos es que las cantidades grandes de los proveedores, que no se ajustan a las necesidades de la compañía

Un elemento muy importante del sistema JIT es nivelar la producción de acuerdo al Takt Time. El Takt Time se refiere a calcular la velocidad a la que salen los productos finales de las líneas de producción, por ejemplo, siete automóviles por hora. El Takt Time no es más que el ritmo de producción y se compone de una fórmula en donde relaciona el tiempo neto disponible de producción entre la demanda diaria.

$$Tack\ Time = \frac{Tiempo\ neto\ disponible\ de\ producción}{Demanda\ diaria}$$

Otro elemento es el “Flujo Continuo” y se refiere a estar produciendo continuamente sin interrupciones. Con esto se llega a una carga de producción uniforme.

Un elemento muy poderoso son las células de manufactura que ya vimos, pero también la tecnología de grupos TG, en donde se juntan en una sola máquina diferentes máquinas. Un ejemplo localmente es Elektrisola. Su proceso es transformar un alambrón de cobre que les llega como materia prima, alongándolo en cada máquina hasta obtener el diámetro especificado, luego el siguiente proceso es ponerle el esmalte o aislante. Esta compañía lo hacía en un departamento de elongación, pasando por varias máquinas y luego lo almacenaban para pasarlo a otro departamento de esmaltado. Esto requería varios días. Actualmente usando la Tecnología de Grupos han diseñado una sola máquina que hace todo el proceso y obviamente se ahorran mucho esfuerzo y tiempo.

El sistema “Pull”, es otro elemento en donde solo se produce lo que demanda el cliente. Cuando la demanda es baja muchas compañías, para no tener a la gente desocupada, acumulan inventario para mantener el 100% de eficiencia de procesos y máquinas, y esto contrasta con pull.

Un elemento muy importante son las compras Justo a Tiempo. Sus proveedores están contratados para que entreguen el producto en muy buena calidad, pero también en cantidades Justo a Tiempo.

4.4.1 Proveedores y distribuidores en JIT.

Reducir el número de proveedores de cada producto y buscar proveedores leales que contribuyan con entregas Justo-A-Tiempo, para que el producto llegue cuando se requiera. Se busca tener

solo proveedores certificados, eliminando a los malos proveedores. Cuando hay pocos proveedores la empresa establece compromisos a largo plazo. Logrando con esto tener entregas solo cuando se necesite. Se busca que las empresas JIT tengan el menor número de proveedores posibles por cada parte comprada, si es posible un solo proveedor.

Los proveedores también deben tener un sistema JIT. Si por alguna razón el proveedor es muy bueno, se le alienta a que intente trabajar bajo la filosofía JIT.

Muchas empresas usan un sistema de **Ship to stock** para tener siempre **proveedores certificados** que reduce en gran medida la variación, es decir, cuando llegan los productos al área de recepción y embarque, en lugar de pasar por el proceso de revisión de calidad de productos, se pasan directamente a las líneas de producción por la confianza que existe en el proveedor. Hay una lucha continua de buscar reducir los tiempos de entrega, ahorrándose pasar por el proceso de recepción de materiales y burocracia en recepción.

4.4.2 Sistema de Inventarios en JIT.

El sistema de inventarios en JIT es producir solo el inventario útil, en cantidad y a tiempo, con la única finalidad de satisfacer las exigencias de la demanda de los clientes. Al cliente de nada le sirve que se entregue un producto comprado que no le llegue a tiempo y en cantidades no pedidas. El ideal JIT es que no hubiera inventarios, que fuera inventarios cero, pero difícilmente sucede eso, sin embargo, siempre hay una lucha incansable para reducir los inventarios.

Compañías instaladas en México han eliminado prácticamente los almacenes en la planta de producción. Por ejemplo, en una planta de Chihuahua perteneciente a Packard de GMC, hacían sistemas ABS de frenos. Decidieron eliminar el almacén y modificaron la manera de recibir los componentes. Estos eran empacados en el área de El Paso, Texas. por juegos de partes (kits) para hacer un sistema ABS. Cuando se descargaba el tráiler con los componentes, el montacargas retiraba el pallet y lo depositaba en la célula de manufactura en donde ya había un espacio vacío marcado para procesar los frenos. De la misma manera en que llegaban, salían de la célula de manufactura los frenos ABS terminados en otro pallet, se les ponía papel celofán y se subían otro tráiler que los estaba esperando. El almacén en realidad solo estaba en los tráileres, que estaban trasladándose en carretera.

Los inventarios en los restaurantes, por ejemplo, deben existir en cantidades mínimas posibles, sobre todo en alimentos frescos, que se degradan rápidamente. Los grandes restaurantes reconocidos compran a diario verduras y se quedan con cero inventarios al final del día.

Según (Digital, 2024) Esta técnica de administración de inventarios se basa en la idea de producir sólo el inventario necesario, en el momento adecuado y en la cantidad exacta para satisfacer la demanda de los clientes.

Ventajas:

Reducción de costos de inventario: El sistema JIT reduce el costo de mantener un nivel de inventario alto, solo tiene lo suficiente, ya que no se necesitan cantidades excesivas de materiales para producir las órdenes de los clientes.

Mejora de la eficiencia: El sistema JIT reduce los tiempos de entrega al enlazar el sistema de producción con la demanda de los clientes. Esto permite que los productos se entreguen al cliente en el momento adecuado.

Mejora de la calidad: El sistema JIT aumenta la calidad de los productos al permitir que los empleados se enfoquen en la producción de productos de alta calidad.

4.4.3 Nivelación de la producción en JIT.

Cuando una empresa JIT desea nivelar la producción en lotes pequeños, teniendo pedidos de varios clientes que compren al mayoreo en grandes lotes, se usa esta técnica de nivelación de la producción, en inglés se le llama Leveling, también conocido como *Heijunka*, en japonés.

Supongamos el caso de que hay 3 clientes con diferentes pedidos como se observa en la Figura 4.6. Un cliente pide 150 piezas, otro 300 y el otro 250. Si se fabricaran como vienen los pedidos en lotes de 150, 300 y 250 piezas. Si se produce así, no se seguiría la regla JIT, que dice hay que hacer lotes pequeños. La solución está en dividir cada lote entre un número que sea común denominador mayor posible a todos, en este caso se encontró el 50. Entonces el pedido $A=150/50=3$, $B=300/50=6$ y $C=250/50=5$, la producción se nivelaría sacando 3 piezas de A, seguidas de 6 de B y al final 5 piezas de C. Al final se entregarían 700 piezas haciendo pequeños lotes de 3, 4, y 5 repitiendo estos pequeños lotes 50 veces.

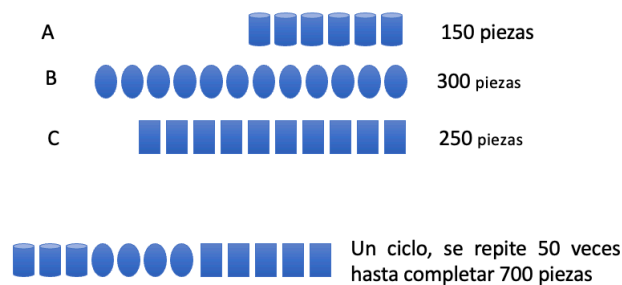


Figura 4. 6 Reducción de lotes de clientes, nivelando la producción.

La ventaja de los pequeños lotes es que habrá mayor flexibilidad, reducción de inventarios para satisfacer la demanda de los clientes, sobre todo cuando la empresa se vea comprometida en alguna entrega urgente no esperada por algún cliente, pudiera ser que el pedido de ese cliente ya esté muy avanzado y solo habría que fabricar pocas piezas para completar el pedido.

Desde luego para que funcione la nivelación de la producción se necesita tener muy bien desarrollado el SMED para no perder tiempo en las preparaciones de cada cambio de modelo.

4.5 Kanban en JIT

Muchos aspectos de los inventarios son negativos y solo un aspecto es positivo: la disponibilidad. Entre los aspectos negativos tenemos mala calidad, obsolescencia, daños, espacio ocupado, activos comprometidos, aumento del seguro, mayor manejo de materiales y aumento de

accidentes. Los sistemas *kanban* ayudan a disminuir todos estos aspectos negativos del inventario, (Heizer & Render, 2008).

Kanban del japonés significa tarjeta, se considera como una señal visible y es un sistema de jalón o tirón como lo explican algunos libros. El sistema Kanban de tarjeta para reabastecer las líneas de producción se usa para avisar a los encargados de los materiales o materialistas que se está acabando el material o piezas para seguir produciendo.

En el sistema Kanban sobre-producir no se permite, solo se produce lo que el cliente pide, entendiéndose como cliente, tanto a los clientes internos, como a los externos.

El sistema Kanban es un sistema de jalón porque usa tarjetas para reponer materiales o productos, pero en el Kanban también se pueden usar señales como un espacio vacío, una alarma o chicharra, o señales de luces indicando que se abastezca el material requerido. El ideal JIT es que todos los materiales estén activamente en uso como elementos de producción en proceso, nunca en descanso acumulando costos de almacenaje, (Schonberger, Técnicas Japoneas de Fabricación, 1987),

Lo que sucede en una línea de producción, es que un trabajador utiliza el espacio vacío para entregar un producto al operador siguiente, para que éste a su vez, le agregue el siguiente componente.

Funciona de esta manera: un operador(a) está usando, por ejemplo, tornillos en su operación de ensamble. Los tornillos lo están tomando de uno de varios contenedores frente a él, el contenedor tiene adherida una tarjeta Kanban, cuando ve que quedan pocos tornillos para 5 o 10 minutos, retira la tarjeta Kanban y la coloca en un tarjetero especial para esas tarjetas. El materialista siempre está recogiendo las tarjetas y va al pequeño almacén a surtir. La tarjeta tiene toda la información de la parte y la ubicación del almacén, así como la cantidad del contenedor, el nombre del proveedor, teléfono, dirección, etc., todo depende de cómo fueron diseñadas por ingeniería las tarjetas Kanban.

Usualmente la cantidad de la tarjeta Kanban está calculada para que dure aproximadamente 1 hora, que es lo recomendable, aunque puede variar, dependiendo de cada compañía. El objetivo es reducir la cantidad de inventarios en todo el sistema. Así por ejemplo el pequeño almacén solo sirve de apoyo, pero no debe exceder las cantidades que se demandan. Algunas empresas tienen inventarios en sus pequeños almacenes para 1 o 2 días, dependiendo de los contratos con proveedores.

Hay dos tipos de tarjetas Kanban, uno para producción P-Kanban y otra para retiro o transporte T-Kanban. El P-Kanban señala que ya se puede producir el producto, mientras que el T-Kanban da la orden de mover el material a otro punto.

No siempre se requiere el uso de tarjetas Kanban, por ejemplo, en una línea de producción se pueden pintar espacios donde se pone la parte que se está produciendo. Si el espacio no está ocupado, el operador puede poner la parte, pero si ya está ocupado, el operador tiene que esperar hasta que se retire la parte y deje el espacio vacío.

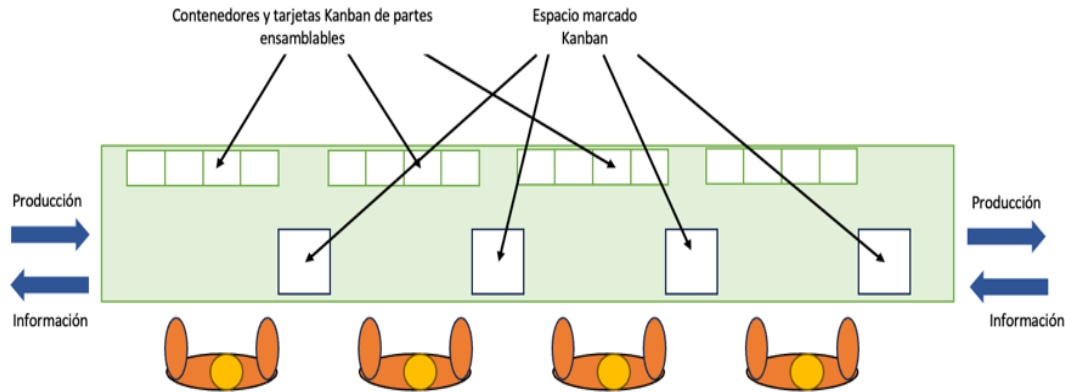


Figura 4. 7 Simulación de una línea de producción.

4.6 Reacción en cadena de la calidad.

(Schonberger, Técnicas Japonesas de fabricación, 1987) en su libro hace referencia que, si el solo hecho de reducir el tamaño de lote, el nivel de conciencia de la calidad mejora. La persona que maneja un lote grande se preocupa del inventario que tiene. La persona que maneja un bajo inventario se preocupa más de lo que le llega y de las operaciones posteriores. Al reducir el inventario hay una razón para hacer un trabajo mejor. Y lo hace. El resultado final es que el cliente va a obtener artículos de mejor calidad. Y, lo que es más, estos costarán menos. El trabajador JIT se vuelve más responsable porque no tendrá probablemente dificultad en encontrar que fue lo que hizo mal. El efecto de la cadena JIT nos produce menos inventario basado en el tamaño del lote, menos inventario de protección, menos desperdicio, menos mano de obra directa desperdiciada en retrabajo, menos costos indirectos por intereses sobre inventario ocioso, menos espacio necesario para guardar el inventario, menos equipo para manejarlo, menos contabilidad del inventario y menos control físico del mismo. Asimismo, los trabajadores están más dispuestos a trasladarse donde está el trabajo y continúan por lo tanto siendo productivos.

Sigue diciendo (Schonberger, Técnicas Japoneas de Fabricación, 1987), si existe control de calidad desde el origen, hay una rápida retroalimentación de información sobre los defectos, esto es natural, es decir, corresponde al trabajador verificar inmediatamente la calidad de la parte producida. Así el trabajador sabe inmediatamente si la parte es mala, lo cual lleva a la “mayor conciencia de los problemas y sus causas”. Las ideas para controlar los defectos son generadas por el trabajador, el grupo de trabajo, el supervisor, diversos ingenieros y otras personas que podrían ser llamadas para que ayuden. Los nuevos controles de defectos disminuyen el desperdicio y mejoran el control de calidad.

El JIT es la clave de la excelencia japonesa, ahora entendemos como los trabajadores de ese país producen productos de alta calidad a precios bajos.

- 9) Si se reduce el tamaño del lote, ¿qué crees que pasa con el nivel de conciencia del trabajador?
- 10) ¿El nivel de conciencia del trabajador hacia la calidad no mejora si se aumenta el tamaño del lote?
- 11) ¿En las compañías JIT sobre quien recae la responsabilidad de la calidad?
- 12) ¿Para qué sirve el kanban?
- 13) La producción Justo-A-Tiempo es igual a la solución obligada de problemas. ¿Esta afirmación es verdadera o falsa?
- 14) ¿Cuándo hay pequeñas demoras que color de luz en el semáforo se prende?
- 15) Cuando un gerente “JIT” no ve luces amarillas encendidas, ¿qué acción toma?
- 16) ¿Cuál es la alta prioridad de las empresas justo a tiempo: el equilibrio de la línea o la flexibilidad?
- 17) En una compañía que desea hacer un cambio hacia el JIT ¿por dónde debe comenzar? A) Configurando la planta en células de manufactura B) Reduciendo el tamaño del lote C) Reduciendo inventarios?
- 18) Que técnica se usa para reducir los tiempos de preparación (/TQC/SMED) _____
- 19) Las plantas JIT utilizan maquinaria (grande/chica) _____ para producir.
- 20) ¿Por qué en los sistemas JIT se utilizan trabajadores multifuncionales? Por ser más (flexibles/productivos) _____

Bibliografía

- Digital, N. (2024). *Inventario justo a tiempo*. Obtenido de danielnytra.com:
<https://www.danielnytra.com/es/marketing/inventario-justo-a-tiempo/>
- Heizer, B., & Render, J. (2004). *Principios de Administración de operaciones*. México: Prentice Hall.
- Heizer, J., & Render, B. (2008). *Dirección de la producción y de operaciones* (Vol. 8a. Edición). Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. (2008). *Administración de Operaciones* (Vol. 8a. Edición). (L. M. Castillo, Ed.) México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la Producción y las Operaciones* (Vol. 5° Edición). Printed in Mexico: McGraw Hill Interamericana.
- Nippon.com. (2011-2024). *Un ventana a Japón*. Obtenido de Una ventana a Japón:
<https://www.nippon.com/es/japan-data/h01747/#:~:text=Según%20la%20encuesta%20del%20movimiento,menos%20que%20el%20año%20anterior.>
- Noori, H., & Radford, R. (2010). *Administración de la Producción y las Operaciones* (Vol. 1a edición). Santa Fé de Bogota: McGraw-Hill.
- Ohno, T. (1991). *El Sistema de Producción Toyota*. Productivity.
- Render, B., & Heizer, J. (2004). *Principios de Administración de Operaciones*. (E. Q. Duarte, Ed.) México: Pearson Education.
- Render, B., & Heizer, J. (2014). *Principios de administración de Operaciones*. (9. Edición, Ed.) Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Schonberger, R. J. (1987). *Técnicas Japoneas de Fabricación*. Limusa.
- Sipper, D., & Bulfin, r. (1989). *Planeación y Control de la Producción*. McGraw Hill.