

## DETERMINACIÓN DE LA PLANEACIÓN AGREGADA

**Dr. C. Alberto Medina León<sup>1</sup>, Dra. C. Dianelys Nogueira Rivera<sup>2</sup>, MSc. Daylin Medina Nogueira<sup>3</sup>, Dra. C. Arialys Hernández Nariño<sup>4</sup>, Dr. C. Raúl Comas Rodríguez<sup>5</sup>, MSc. Manuel Hums Varaela<sup>6</sup>, ATD Lixandra Alonso Gámez<sup>7</sup>.**

1. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
2. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
3. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
4. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
5. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
6. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
7. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*

## Resumen

El trabajo muestra los distintos métodos registrados en la literatura para la determinación del Plan Maestro de producción. Estos métodos resultan un compromiso entre las diversas áreas de la organización, en especial, la productiva, financiera, personal y mercadotecnia. Los métodos pueden brindar soluciones óptimas o heurísticas y su selección está en dependencia de la estrategia que posea la organización. Los métodos que se estudian resultan: el método gráfico en sus variantes, el tabular, el Bowman y la programación lineal.

*Palabras claves:* Planificación, planeación agregada, métodos de determinación de la producción agregada, Plan Maestro de producción, método tabular, método Bowman, programación lineal.

---

## Índice

1. Consideraciones iniciales .....	2
2. La planeación agregada .....	4
3. Elaboración del Plan Maestro de Producción.....	8
3.1 Métodos gráficos para la planificación agregada .....	10
3.1.1 El Histograma .....	11
3.1.2 Gráfica de los requerimientos acumulados.....	13
3.2 Determinación del Plan Maestro mediante el Método Tabular.....	16
3.3 Determinación del Plan Maestro mediante la tabla de los costos (Método Bowman)	23
3.4 Programación Lineal.....	29
Bibliografía.....	33

### 1. Consideraciones iniciales

Para el sistema de dirección de la empresa las funciones de planificación y control representan su verdadero contenido científico y práctico. Son el medio de planteamiento de objetivos y la medida de la eficacia de dicho sistema. La planificación proporciona un marco de referencia a la toma de decisiones y resulta el proceso de conexión entre las estrategias empresariales y las estrategias de operaciones (misión, competencia distintiva, objetivos y políticas) de la empresa, y por tanto, representa el estudio y la fijación de objetivos de la empresa tanto a largo como a corto plazo, y referentes al sistema total como a cada uno de los subsistemas empresariales. Este proceso resulta una vía para aprovechar las fortalezas y eliminar las debilidades de nuestro sistema, a la vez de conocer y utilizar las oportunidades y amenazas del entorno.

La planificación es conveniente en sí misma. Incluso si se fracasa en la consecución de los objetivos del plan, en el proceso se consigue un mejor conocimiento de la empresa, de sus posibilidades, de su entorno, de sus medios. Planificar obliga a una disciplina de estudios e investigación que genera un conocimiento que, como todo saber, es conveniente en sí mismo y contribuye a los resultados de la empresa.

La planificación de la producción consiste en definir el volumen y el momento de fabricación de los productos, establece un equilibrio entre la producción y la capacidad a los distintos niveles, en busca de la competitividad deseada. Para ello, se requiere de un proceso concatenado de planes que vinculen los distintos niveles jerárquicos de la organización.

La planificación es la función que procura definir, a su vez, la estructura de la organización más adecuada, según las estrategias formuladas, los objetivos planteados y el nivel de cambio del entorno socio - económico, además debe cumplir los requisitos básicos siguientes, de forma que asegure la eficacia de la dirección en cuanto ha de procurar la obtención de los fines globales de la empresa (KOONTZ y O'DONELL 1965).

- ✓ Contribución a los objetivos.
- ✓ Eficacia de la planificación.

- ✓ Generalización de la planificación a todos los niveles y en todas las funciones de la empresa.
- ✓ Eficiencia de los planes en términos de consecución del máximo rendimiento de los recursos asignados.

La planificación es un proceso iterativo en el tiempo en que los planes son deslizantes. El plan poseerá una extensión temporal que se denomina horizonte, considera que más allá del horizonte el futuro lejano influye, aunque poco en las decisiones presentes, a lo que se suma la incertidumbre e imprecisión inherentes a las previsiones lejanas. Antes de que haya transcurrido el tiempo del horizonte se establecerá otro plan del mismo horizonte que, por tanto, tendrá parte solapada con el anterior aunque posiblemente en ello no figuren exactamente las mismas acciones, ya que tanto las incidencias ocurridas como las nuevas previsiones induzcan a su corrección.

## **2. La planeación agregada**

La planificación agregada se refiere a la relación entre la oferta y la demanda de la producción a mediano plazo, hasta aproximadamente 12 meses hacia el futuro, (SCHROEDER 2011). Pretende transformar las previsiones de la demanda o consumo en un Plan Agregado, director o base de producción, es decir, en unas cantidades de productos a producir durante determinados intervalos de tiempo.

El término agregada implica que esta planeación se realiza para una sola medida general de producción o, a lo sumo, para algunas categorías de productos acumulados. Su objetivo es establecer niveles de producción generales a corto y mediano plazo para enfrentar la demanda.

Para (NARASIMHAN, SEETHARAMA L; MCLEAVY y BILLINGTON 1996), la planeación agregada de la producción consiste en planear una producción deseada en un plazo intermedio de tres meses a un año. El plan agregado necesita de alguna unidad lógica común para medir la producción: galones de pintura en una fábrica de pinturas, número de vestidos en una fábrica de ropas, cajas de cervezas en una cervecería y quizás horas máquinas equivalentes en las industrias de fabricación. Las proyecciones de grupos

de productos, por lo general, son más precisas que la proyección de una partida individual. Cuanto más se adelante en el futuro una proyección, menos probable será su exactitud.

Si se reconoce lo anterior, la planeación y el control de la producción se realizan de acuerdo a la demanda de grupo durante medianos y largos plazos. Sin embargo, a corto plazo, conforme están disponibles mejores previsiones para los datos individuales, se vuelve factible la programación detallada y separada. La elección de grupos significativos requiere de un conocimiento amplio de los productos y de los procesos de fabricación. Los grupos no son necesariamente los mismos que utilizan el departamento de mercadotecnia/ventas o el sistema de control de inventarios. Los grupos elegidos deben ser significativos en término de la demanda de las instalaciones y de sus características tecnológico - constructivas.

Como resultado de la planeación agregada deben tomarse decisiones y establecerse políticas que permitirán enfrentar las variaciones de las producciones mensuales. Estas variaciones que influirán en las capacidades de producción serán: modificación de la fuerza de trabajo (contrataciones, despidos, subcontratistas), modificación del régimen de trabajo (horas extras), variación de inventarios.

**El Plan Agregado representa un compromiso** entre las expectativas existentes respecto a la demanda o el consumo representadas por el **área comercial** de la empresa y las posibilidades tecnológicas y humanas del sistema productivo definidas por **el área productiva**; pero a la vez incorpora los intereses de las áreas de **finanzas y personal**.



Fig. 1 Plan Maestro de producción

El Plan Agregado de producción será el resultado de un compromiso entre estas áreas, busca el óptimo para el sistema, ya sea desde el punto de vista económico o de satisfacción de la estrategia fijada.

En la práctica diaria, resulta de conveniencia para **el área productiva** el realizar su actividad a ritmos de producciones constantes, con poca variedad, altos volúmenes de producción y considerable producción almacenada (los stock no molestan a producción salvo por cuestiones de espacio) y pocos cambios en el surtido, régimen de trabajo y de contratación de personal. Esto facilitará su labor.

**El área comercial**, pretenderá la producción con una alta variedad en surtido y un estricto cumplimiento en fecha, de los pedidos. Para ella, no resulta preocupación las vías para lograr esto, ya sean: la variación de la fuerza, o del régimen de trabajo empleado.

**Finanzas**, estará de acuerdo con las ventas rápidas, con los bajos niveles de inventarios, la disminución de las horas extras y de las producciones almacenadas.

**Personal**, se preocupará porque el despido de personal sistemático, aumenta su caudal de trabajo, disminuye la experiencia del personal e influye en su eficiencia, de igual forma, se preocupa porque las horas extras de producción son más costosas que las horas de trabajo normales.

Todas las decisiones a tomar para realizar el ajuste tienen en general sus ventajas e inconvenientes, sus limitaciones, sus condicionales y sus costos; afectan diferentemente a las diversas funciones de la empresa. ¿A quién complacer? Por lo general, vence aquel con más poder e influencias, en lugar de tomarse las decisiones que respondan de forma más efectiva a los intereses estratégicos de la empresa y al análisis económico de los planes.

De lo anterior, se desprende que en ocasiones será conveniente o necesario ajustar el cálculo realizado para la demanda, ya sea en volumen o en la distribución en el tiempo, así como que resulta importante la realización de varios planes factibles, para la selección de uno, en atención a factores económicos, técnicos o comerciales.

Cuando la demanda sufre fuertes oscilaciones estacionales, en volumen o en variedad, o cuando las disponibilidades productivas poseen también dicha cualidad, por ejemplo a causa de las vacaciones de verano, y el producto es almacenable, resulta posible modular la producción en forma diferente a la demanda o consumo para ajustarla más a las disponibilidades de recursos.

Se definen los intervalos como aquellos períodos de tiempo en que se divide el horizonte de planificación de forma tal que refleje la estacionalidad si esta existe (generalmente de 12 meses para horizontes de un año). Se considera la tasa o razón de producción la cantidad de unidades a producir por unidad de tiempo durante el intervalo.

En los intervalos en que la demanda sea inferior a la capacidad de producción, se mantendrá la tasa de producción, hace que la producción sobrante se almacene, mientras que en los intervalos en que la demanda supera la capacidad, se atenderá no sólo a partir de lo producido, sino también a partir de los stocks. La producción agregada, en ocasiones, es denominada producción suavizada, ya que se busca con ella disminuir todas las crestas y

los valles para satisfacer una demanda no uniforme; porque las grandes fluctuaciones en la producción casi siempre resultan muy costosas.

El Plan Agregado se elabora a partir del plan de producción. En muchas organizaciones empresariales no está clara la diferenciación entre ambos planes; la idea general es que el Plan Maestro de Producción debe tener un nivel de agregación menor y que a menudo es elaborado por la dirección intermedia de la empresa. (COMPANYS PASCUAL 1989)

En estos planes realizan sus cálculos considerando los recursos disponibles desde el punto de vista global, sin considerar la carga máquina a máquina. Es por ello interesante identificar cuáles son los cuellos de botella de la instalación, que pueden ser una o varias máquinas o incluso turnos de operarios, para analizar si el Plan Agregado de Producción tentativo puede dar lugar a un programa realizable o no. Así, habrá que iterativamente reconstruir los planes, hasta lograr la factibilidad. (DÍAZ 1993), plantea la necesidad de elaborar un plan que sea compatible con la estrategia de la organización y que garantice la adecuada utilización de la capacidad instalada (máximo uso). (GOLDRATT 2005), exige este máximo sólo para los equipos limitantes del proceso productivo.

Según (DÍAZ 1993), el Plan Agregado proporciona una relación importante entre la mercadotecnia y la función de producción. Señala cuándo programar en producto las órdenes de compra o pedidos que llegan, y después de terminar su fabricación, programa su embarque para enviarlos al cliente. Por tanto, proporciona una promesa de envío realista.

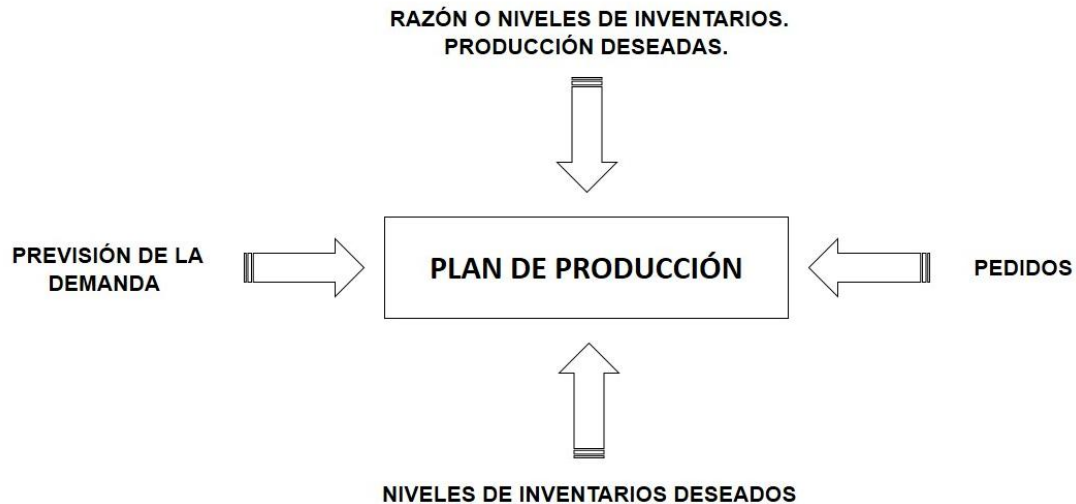
El Plan Agregado finalmente obtenido, no tiene por qué coincidir con la demanda prevista, toda vez que con ésta se podría haber superado la capacidad máxima o las posibilidades financieras de la empresa, existen stock, o simplemente se desean garantizar volúmenes de producción superiores para cubrir posibles picos.

### **3. Elaboración del Plan Maestro de Producción**

Las modalidades y procedimientos a utilizar concretamente en la elaboración del Plan Agregado son función del tipo y problemática de la empresa, del sistema productivo



considerado y de la metodología de gestión de la producción utilizada. En su elaboración, según (DILWORTH 1989) influyen los siguientes elementos:



Para la selección del plan maestro de producción son reflejadas las siguientes formas:

- a) Métodos gráficos: El Histograma y la Gráfica de Requerimientos Acumulados.
- c) Método tabular.
- d) Modelos económicos matemáticos (programación lineal).
- e) Método Bowman.

Para una más fácil explicación y desarrollo de estos métodos, lo haremos basándonos en un ejemplo para la empresa productora de extintores Noel Fernández. Esta empresa ha realizado una previsión de sus ventas de extintores en sus diversos tipos para el año 2015, y a la vez, determinado los días laborables para cada uno de los meses del año con la intención de elaborar su plan agregado de producción. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Previsión</b>	21000	23000	22000	22000	23000	23000	25300	18700	19000	18200	20000	18000
<b>Laborables</b>	21	22	22	21	23	21	21	8	20	20	19	22

La empresa posee planificado un régimen de trabajo de 8 horas por día y un máximo de 3 horas extras diarias, con capacidad de producción de 120 y 90 unidades por horas en tiempo de trabajo normal y extra respectivamente. La planificación de los costos para 2015 establece los siguientes:

- a) costos de producción en horas normales.....\$6.00/unidad.
- b) costos de producción en horas extras.....\$7.00/unidad
- c) costos por exceso de stock de un extintor - mes.....\$2.00/unid-mes
- d) costo por ruptura de stock.....\$4.00/unidad.

¿Cómo determinar el plan maestro de producción?, si para la empresa pudieran existir las situaciones siguientes:

- a) Comenzar el año con cero stocks y terminarlo de misma manera.
- b) Comenzar el año con unas existencias en almacén de 100 unidades y terminarlo con existencias de 200 unidades.

### 3.1 Métodos gráficos para la planificación agregada

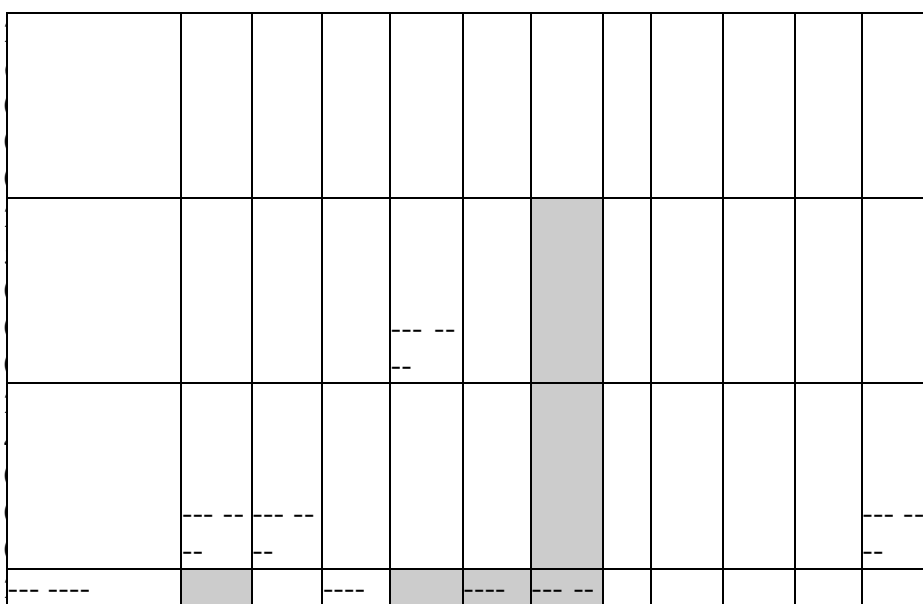
Resulta el método más sencillo para su aplicación, pero no por eso deja de ser una herramienta adecuada para la planificación agregada. Permite el trabajo con diversas variables y puede mostrar distintas alternativas de una estrategia dada, con base en la prueba y el error.

### 3.1.1 El Histograma

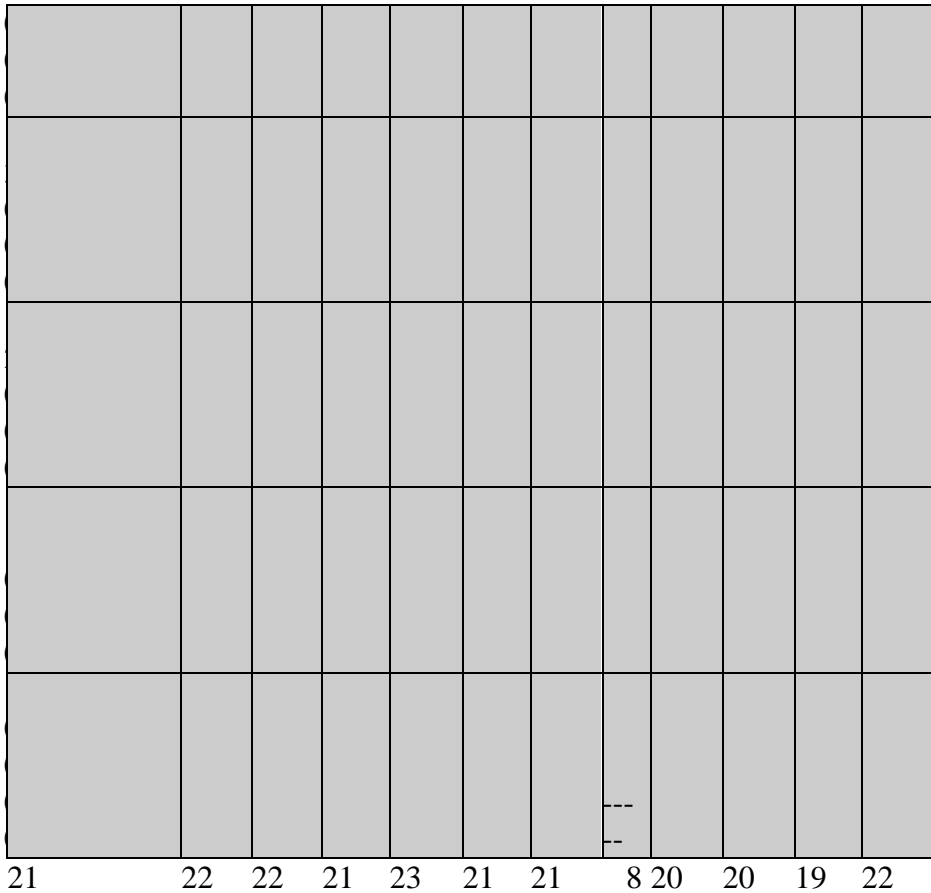
Resulta una técnica de amplia utilización en la ciencia de la Gestión de la Producción. En este caso las características esenciales para su construcción son las siguientes:

- 1- En el eje de las X representaremos los días laborables de los distintos intervalos del período analizado. Como generalmente esta información no es constante, tampoco lo será la amplitud del intervalo (barra).
- 2- En el eje de las Y se representan los valores de producción deseados a alcanzar para cada uno de los períodos.
- 3- Se trazará una línea de producción promedio o de tasa estable de producción para cada intervalo, la que será obtenida al multiplicar la tasa de producción estable del horizonte de planeación (Demanda acumulada del horizonte/días laborables acumulados del horizonte), por la cantidad de días laborables del período.

Este gráfico permite visualizar de una forma sencilla y rápida los requerimientos de capacidad para los volúmenes de producción fijados, a la vez que la cantidad de producción realizada y no vendida (almacenada).



			---		---	---				
								---	---	
									.....	



**3.1.2 Gráfica de los requerimientos acumulados**

Posee una mayor complejidad que el método anterior; pero a la vez garantiza un análisis de un mayor número de alternativas de planes de producción. El método consiste de los pasos siguientes:

- 1- Construir un eje de coordenadas cartesianas, colocando en el eje de la X los días de trabajo acumulados (como representante de la capacidad productiva) y en el eje de las Y, la demanda acumulada. Construir la gráfica para todo el horizonte de planificación.
- 2- Seleccionar varias alternativas de plan que representen a la estrategia empresarial. Trazar gráfica del plan tentativo.

Aquí se muestran tres casos distintos de la selección de una estrategia de producción a “tasa constante de producción” o de capacidad nivelada. Observar aquellos momentos en

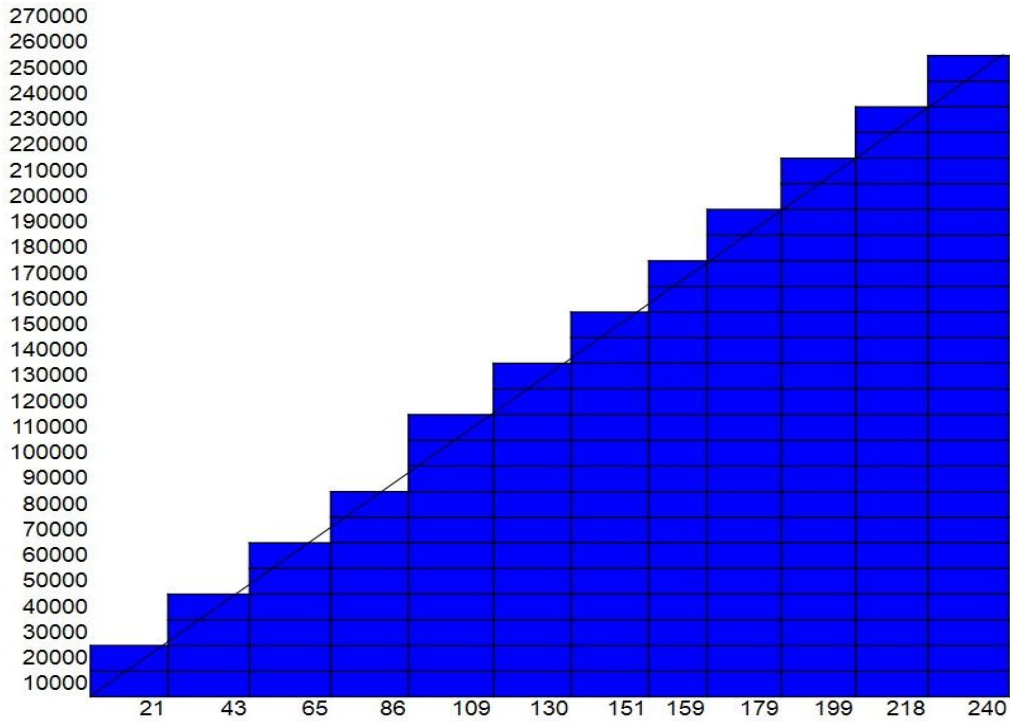
que la estrategia seleccionada supera a la demanda se está en presencia de un exceso de stock, y cuando por el contrario la demanda supera a los niveles de producción se estará en presencia de un nivel de producción por debajo de la demanda, la que puede ser asumida por los stock existentes o simplemente estaremos en presencia de una ruptura de stock.

La gráfica (a) parte del origen por la no existencia de stock inicial. La gráfica (b) parte de un valor en el eje de las “Y” de 100, que representa la existencia de un stock inicial a inicios del período considerado. En las gráficas (a) y (b), el valor de la demanda acumulada para el último valor del período coincide con el valor del plan trazado para la estrategia dada, esto significa, que no se prevé la existencia de stock al final del período.

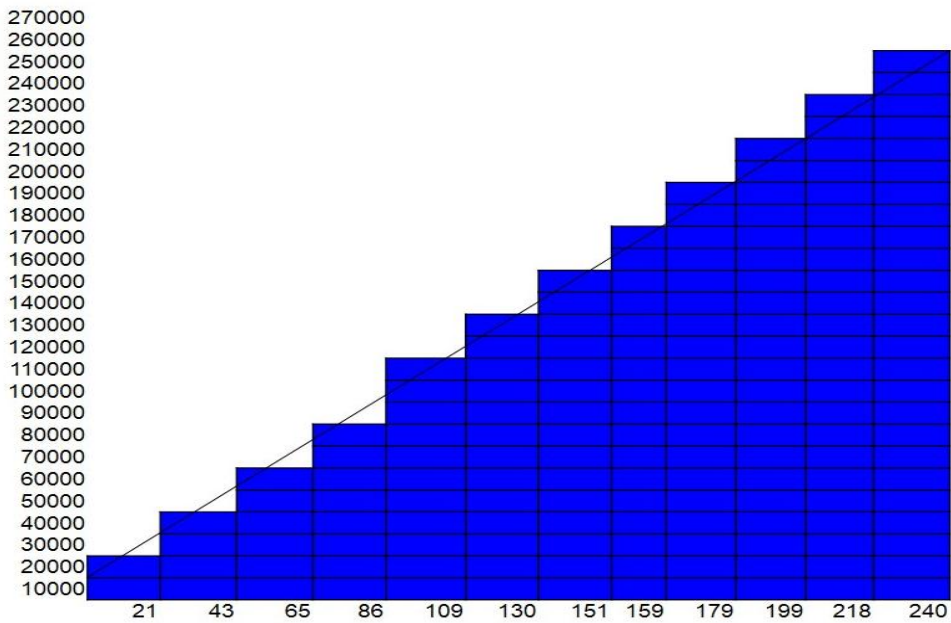
Para el caso (c), existe una diferencia (200 unidades) que precisamente es el stock planificado para finales de este período.

La pendiente de la recta que representa al plan posee un significado, la tasa de producción que se deberá asumir para cumplir con la estrategia y el plan trazado. El área comprendida entre ambas gráficas será la producción almacenada o dejada de fabricar por debajo del plan según sea el caso.

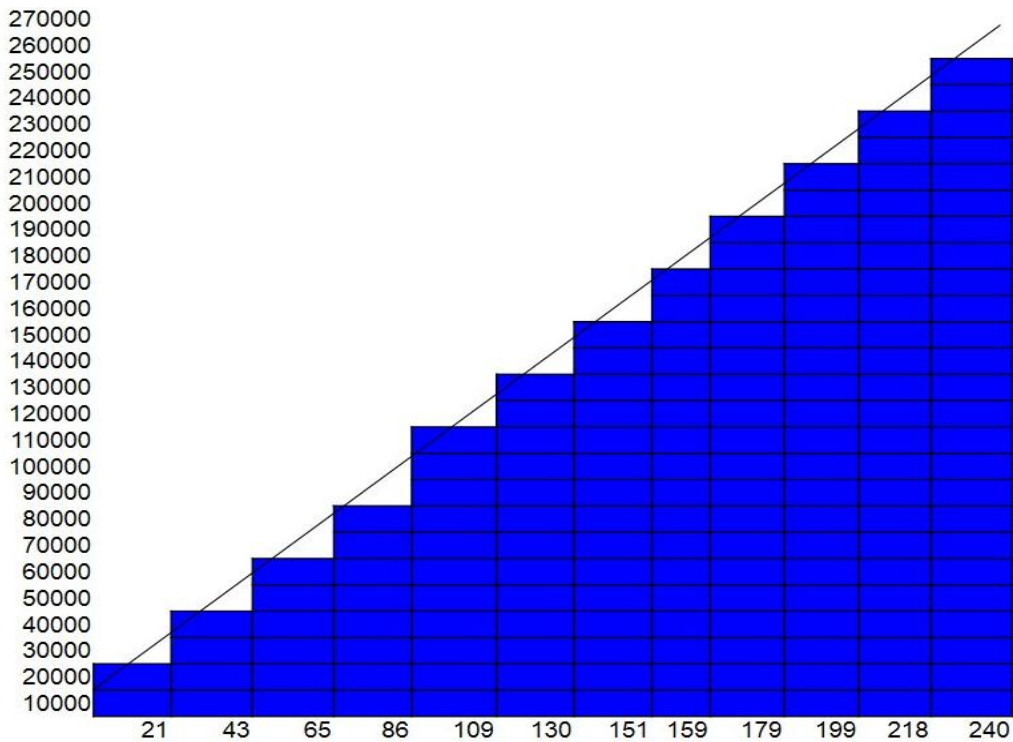
- a) Analizar las distintas estrategias posibles en cuanto a la demanda y producción planificada, en correspondencia de la estrategia empresarial fijada.
- b) Para las estrategias seleccionadas calcular los costos.
- c) Fijación del plan de producción agregada. De esta selección puede salir como consecuencia la revisión de los pasos del 2 al 4 del proceso o incluso el análisis de modificarlos valores de la previsión de la demanda.



CASO (a): Razón constante, cero *stock* inicial y final



CASO (b): Razón constante, con existencia de *stock* inicial (100 unidades) y cero *stock* final



CASO (c): Razón constante con existencia de *stock* inicial (100 unidades) y final (200 unidades).

### 3.2 Determinación del Plan Maestro mediante el Método Tabular

Este método también conocido como método de tanteo y error, es quizás el más usado para la realización del plan maestro. El evalúa el costo de diferentes alternativas para el uso de los recursos, hasta determinar la capacidad productiva necesaria. A pesar de no incorporar cálculos matemáticos complejos, la reiteración de las operaciones que ejecuta lo hace trabajoso y se recomienda el uso de hojas de cálculo electrónicas.

Para la realización de este método requerimos de la construcción de una tabla con las siguientes características:

Mes.	Día Lab	Día Lab. Acu.	Dem	Dem Acum.	Razón Produc. Mensual	Razón Produc. Acumul.	Stock. Ideal. (10%)	Difer. Stock.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)



<b>Stock Inicia.</b> →							100	
<b>ENE</b>	21	21	21000	21000	1000.00	1000.00	2100	2000
<b>FEB</b>	22	43	23000	44000	1045.45	1023.25	2300	200
<b>MAR</b>	22	65	22000	66000	1000.00	1015.38	2200	-100
<b>ABR</b>	21	86	22000	88000	1047.62	1023.25	2200	0
<b>MAY</b>	23	109	23000	111000	1000.00	1018.35	2300	100
<b>JUN</b>	21	130	23000	134000	1095.24	1030.76	2300	0
<b>JUL</b>	21	151	25300	159300	1204.76	1054.97	2530	230
<b>AGO</b>	8	159	18700	178000	2337.50	1119.50	1870	-660
<b>SEP</b>	20	179	19000	197000	950.00	1100.56	1900	30
<b>OCT</b>	20	199	18200	215200	910.00	1081.40	1820	-80
<b>NOV</b>	19	218	20000	235200	1052.63	1078.90	2000	180
<b>DIC</b>	22	240	18000	253200	818.18	1055.00	1800	-200
<b>Total</b>	240	-	253200	-	1055.00	-	-	2740 -1040

<b>Mes.</b>	<b>Dem. Rectif.</b>	<b>Dem. Rectif. Acum.</b>	<b>Raz. Prod. Mens.</b>	<b>Raz. Prd. Mens Acum</b>	<b>Exist De Prod</b>	<b>Exist. al final del período</b>	<b>Dif De Stock</b>
<b>(1)</b>	<b>(10)</b>	<b>(11)</b>	<b>(12)</b>	<b>(13)</b>	<b>(14)</b>	<b>(15)</b>	<b>(16)</b>
<b>Stock Inicia.</b> →							
<b>ENE</b>	23000	23000	1095.23	1095.23	22404	1404	-596
<b>FEB</b>	23200	46200	1054.54	1074.42	24769	1769	1569
<b>MAR</b>	21900	68100	995.45	1047.69	25135	3135	3235
<b>ABR</b>	22000	90100	1047.62	1047.67	25439	3439	3439
<b>MAY</b>	23100	113200	1004.35	1038.53	27867	4867	4767
<b>JUN</b>	23000	136200	1095.24	1047.69	27170	4170	4170
<b>JUL</b>	25530	161730	1215.71	1071.06	26474	1174	944
<b>AGO</b>	18040	179770	2255.00	1130.63	9671	-9029	-8369
<b>SEP</b>	19030	198800	951.50	1110.61	12212	-6788	-6818
<b>OCT</b>	18120	216920	906.00	1095.05	14454	-3746	-3666
<b>NOV</b>	20180	237100	1062.10	1087.61	16433	-3567	-3747
<b>DIC</b>	17800	254900	809.09	1062.08	19799	1799	1999
<b>Total</b>			1062.08				

Columna (1): Indica los intervalos en que se divide el horizonte generalmente desde Enero hasta Diciembre.

Columna (2): Días laborables para cada intervalo.

Columna (3): Días laborables acumulados.

Columna (4): Demanda estimada en unidades dentro del horizonte del plan.

Columna (5): Demanda estimada acumulada en unidades dentro del horizonte del plan.

Columna (6): Representa la razón de producción mensual. Establece la razón de producción diaria en el mes en curso necesaria a cumplimentar para garantizar el plan mensual una vez concluido el período, y se calcula:

$$\text{Razón (6)} = (4) / (2)$$

Para el mes de febrero el valor de 1045.45 representa que si se produce a una razón constante durante todos los días de febrero de 1045.45 se cumplirá con el plan de ese mes.

Columna (7): Representa la razón de producción acumulada. Establece la razón de producción “diaria” para todo el período en curso que permite garantizar al final del mismo el cumplimiento del plan con una razón de producción constante. Se calcula como la demanda acumulada entre los días laborables acumulados:

$$\text{Razón (7) acum.} = (5) / (3)$$

Para el mes de febrero el valor de 1023.25 representa que si se produce a una razón constante durante todos los días del año hasta el último día de febrero con una razón de 1023.25 se cumplirá con el plan acumulado hasta ese mes.

Columna (8): Contiene los datos del stock ideal, el cual es la cantidad de artículos que se desean tener fabricados sobre la demanda al final del mes en cuestión para satisfacer

variaciones positivas en la demanda o subsanar errores en la previsión. Si las desviaciones son en el sentido de que la demanda real es inferior a la prevista, los stocks serán superiores a los planificados y por consiguiente en un nuevo ciclo de planificación se efectuará la corrección pertinente. Sin embargo, si la demanda es superior a la prevista se puede producir una rotura de stock, con la consiguiente pérdida de ventas y otros efectos perturbadores.

Para eliminar estas desviaciones negativas, se acostumbra a fijar un plan asociado a un stock ideal, que de cumplirse exactamente las previsiones sobre la demanda, mantenga al final de cada mes un stock igual a un porcentaje de la demanda de dicho mes (usualmente igual al 10%).

Columna (9): Diferencia de stock, que se calcula:

$$\text{Diferencia de stock} = \text{stock ideal} - \text{stock inicial}$$

Esta diferencia de stock representa la variación entre lo que se quiere poseer en el stock y lo que realmente se espera tener en el mes anterior. Significa la cantidad con la que hay que rectificar la demanda. Por ejemplo, si a principios de Enero el stock es de 100 unidades y se desea al final de dicho mes uno de 2100 unidades, la variación de stock exige producir en Enero 2000 unidades más que la que indica la demanda; si al final de Febrero el stock deseado es de 2300 unidades solamente, la variación de stock nos proporciona 200 unidades para atender la demanda, por lo que la producción de febrero deberá ser 200 unidades superior a dicha demanda, etc.

Columna (10): Contiene la demanda rectificada que se calcula:

$$\text{Demanda Rectificada} = \text{Demanda (4)} + \text{Diferencia de stock (9)}$$

Rectificar la demanda garantiza que al final de cada período se haya producido la demanda planificada y se garantice el porcentaje de stock fijado.

Columna (11): Representa la demanda rectificada acumulada hasta la fecha final del período analizado.

Columna (12): Representa la razón de producción mensual sobre la base de la demanda rectificada. Establece la razón de producción diaria en el mes en curso necesaria a cumplimentar para garantizar el plan de producción y además el porcentaje de stock fijado una vez concluido el período, y se calcula:

$$\text{Razón (12)} = (10)/(2)$$

Para el mes de febrero el valor de 1054.54 representa que si se produce a una razón constante durante todos los días de febrero de 1054.54 se cumplirá con el plan de ese mes y además se garantizará el 10% de stock fijado sobre la demanda.

Columna (13): Representa la razón de producción acumulada sobre la base de la demanda rectificada. Establece la razón de producción “diaria” para todo el período en curso que permite garantizar al final del mismo el cumplimiento del plan con una razón de producción constante y además al final de cada uno de los períodos el porcentaje de stock fijado. Se calcula como la demanda rectificada acumulada entre los días laborables acumulados:

$$\text{Razón (13) acum.} = (11)/(3)$$

Para el mes de febrero el valor de 1074.42 representa que si se produce a una razón constante durante todos los días del año hasta el último día de febrero con una razón de 1074.42 se cumplirá con el plan acumulado hasta ese mes y además se garantizará el 10% de stock fijado sobre la demanda al finalizar cada período.

Columna (14): Representa los niveles de existencia de producción en el período dado en función de la tasa de producción seleccionada. Para una tasa de producción constante, sobre la base de la demanda rectificada y garantizando un porcentaje prefijado de stock sería:

Columna (14)= Tasa seleccionada \* Columna (2) +Existencia real en almacén en el período n-1.

En el ejemplo:

$$(14) = 1062.08 * 21 + 100 = 22404 \text{ para el mes de enero.}$$

Para una tasa de producción seleccionada de 1062.08 unidades/día (que coincide con la estrategia de tasa nivelada para todo el año y por tanto con la tasa para diciembre sobre la base de la demanda rectificadora acumulada), se multiplica por los días laborables (21) y a esto se suman 100 unidades de stock existentes a inicios del período

Columna (15): Niveles de existencia al final del período después de las ventas.

$$(15) = \text{Producción en existencia (14)} - \text{Demanda requerida (4)}$$

Para enero:

$$(15) = 22404 - 2100 = 14404$$

Columna (16): Diferencia de stock: Representa la diferencia entre la producción que se posee en existencia en el período dado y la demanda rectificadora del propio período. Este resultado indica el comportamiento de los stocks en el período (exceso o ruptura de stock).

$$\text{Columna (16)} = (14) - (10)$$

$$(16) = 22404 - 23000 = -596$$

Para enero representa que existe una ruptura de stock en el período de 596 unidades, que representa que existen en almacén 596 unidades menos que las deseadas. Para febrero, el resultado positivo indica la existencia de un exceso sobre lo deseado.

Después de realizados estos cálculos para los planes que se evalúen se escogerá como plan óptimo aquel que posea un menor costo total. Para el ejemplo desarrollado, en la variante

de producir garantizando una razón constante de producción y un stock de un 10% por encima de la demanda, los costos asociados al mismo se calculan de la siguiente forma:

a) Costos de producción en horas normales.

Se determina la capacidad de producción en horas normales para todo el mes (multiplicando cap./hora por horas/día por días lab.)

Se compara este valor con el planificado y el menor se multiplica por el costo unitario.

Ej. Cap. en enero =  $120 \text{ u/h} * 8 \text{ h/día} * 21 \text{ días/mes} = 20160 \text{ u/mes}$

Según el plan se deben producir 22 404 y por tanto el costo en horas normales es:

$$\text{Costo} = 20160 \text{ u/mes} * \$6,00 /\text{u.} = \$ 120 960,00 /\text{mes}$$

b) Costos de producción en horas extras.

Se determina la diferencia de unidades del plan y la capacidad en horas normales

Ej.  $22404 - 20160 = 2244 \text{ u/mes}$

Se compara con la capacidad en horas extras para todo el mes y el menor valor es multiplicado por el costo unitario en horas extras.

Ej. Cap. extra =  $90\text{u./h.} * 3 \text{ h./día} * 21 \text{ días lab./mes} = 5670 \text{ u./mes}$

$$\text{Costo} = 2244 \text{ u/ mes} * \$2,00 \text{ u./mes} = \$4488,00 /\text{mes}$$

En caso de ser mayor el plan que la capacidad existen dos alternativas, reducir el plan o aumentar la capacidad de la empresa mediante nuevas estrategias.

c) Costos de producción almacenada por encima de los límites prefijados para garantizar los niveles de stock.

Se multiplica el costo unitario por exceso de stock por la diferencia de stock (Columna 16) si esta es positiva.

Ej. Costo en febrero = 1573 u. /mes \* \$2,00/u = \$ 3146,00 /mes

d) Costos de ruptura de stock.

Se multiplica el costo unitario por ruptura de stock por la diferencia de stock (Columna 16) si esta es negativa.

Ej. Costo en enero = 596 u/mes \* \$ 4,00 /u. = \$ 2384,00 /mes

### **3.3 Determinación del Plan Maestro mediante la tabla de los costos (Método Bowman)**

El método que a continuación se describe, formulado por Bowman (NARASIMHAN, SEETHARAMA L; MCLEAVY y BILLINGTON 1996), es un caso especial de un modelo de programación lineal y encuentra solución por el método de transporte. Es utilizado generalmente para aquellos casos en que no se prevé ruptura de stock y la búsqueda de la solución sobre la base de combinaciones de producir en horas normales y en horas extras. Para modelos más complejos, la programación lineal puede ser más eficiente.

Por la estructura del modelo, no se necesita todo el poder del algoritmo del método de transporte. Parte de un variante reducida del método tabular (columnas 1 a la 11, excluyendo la 6 y la 7) y el algoritmo propuesto por Land (NARASIMHAN, SEETHARAMA L; MCLEAVY y BILLINGTON 1996).

Este método, a manera de resumen, posee las siguientes características y requerimientos para su implementación:

1) Es un método de optimización, es decir, brinda la solución óptima al problema planteando una variante de plan de producción que minimiza los costos. Esta solución puede ser obtenida considerando la posibilidad de no diferir la demanda o de retrasar las entregas o considerando ambas posibilidades.

2) Se recomienda su uso sobre la base de la demanda rectificada (aunque no resulta un requisito), por lo tanto considera los stocks existentes y deseados para cada período, además de la previsión realizada. De lo anterior se desprende que será útil o necesario la realización previamente de las columnas (1) a la (10), con la exclusión de las (6) y (7) de la tabla correspondiente al método tabular.

3) Requiere como informaciones la capacidad y los costos de producción para cada período desglosados en sus distintas formas o posibilidades (horas normales, horas extras, posibilidades de subcontratación, etc.).

4) Se requiere de la determinación de los costos provocados por almacenamiento y ruptura.

Según (COMPANYS 1990), una forma de abordar el problema es la de construir una tabla de 144 casillas, 12 x 12 (si el período a planificar es de un año), donde las filas indican las necesidades definidas por la demanda rectificada de cada mes, y en las columnas las posibilidades de producción a los distintos costos.

Para la construcción de esta matriz se recomienda el formato siguiente:

MES	ENERO					FEBRERO
	...					...
	Capac de prod en horas normales	Capac de prod en horas extras	Capac de prod por subcontratación	...	Costos por ruptura de stock	
	Costos de produc en horas normales	Costos de produc en horas extras	Costos de prod por subcontratación	...		
ENERO (DEMANDA RECTIFICADA)	Capac real posible para el período					
	Costo de produc real					
	Volumen de produc asignado					
FEBRERO (DEMANDA RECTIFICADA)						
TOTAL DE LA PROD. ASIGNADA AL						



PERÍODO						
COSTO ASOCIADO A LA PRODUC. ASIGNADA						

- a) Construir una matriz de 12 x 12. En las filas y columnas correspondientes al encabezamiento de la tabla se colocan los distintos meses del año.
- b) Dado que es posible producir a distintos costos (horas normales, horas extras, subcontratación, etc.), cada columna tendrá tantas subcolumnas como formas o costos de producción distintos sean posibles.
- c) La capacidad de producción en horas normales, será el resultado de multiplicar la capacidad de producción horaria, por las horas trabajadas diarias (normales), por los días laborables del mes o período considerado. Para las restantes se procede de forma similar. Estos valores se colocan a manera de guía en la primera de las filas (encabezamiento de la tabla).
- d) En la propia fila de encabezamiento, se coloca otra subfila correspondiente a los costos de producción en cada una de las posibilidades de producción analizadas y exactamente debajo de ella. Por ejemplo, atender la demanda de un mes con la producción normal de dicho mes tiene un costo de \$6.00 /unidad, y de 7 si se atiende con las horas extras. Sin embargo, si atendemos la demanda con las disponibilidades de producción del mes anterior dichas cantidades deben ser aumentadas en 2 unidades por cada mes de almacenaje que ello represente.
- e) Debe adicionarse una subcolumna más para reflejar los costos por ruptura de stock, aunque el procedimiento en su esencia trata de que esto no ocurra.
- f) En la primera columna (la correspondiente al encabezamiento) debemos colocar junto al mes en cuestión el valor de la demanda que se debe satisfacer en ese período.
- g) Cada fila poseerá tres subfilas: la primera para colocar la capacidad real existente en el período dado, al inicio coincidirá con la instalada; pero podrá disminuir en la medida que

asignemos tareas a realizar después de ejecutadas las asignaciones, la segunda para los costos en que se incurrirá de ejecutarse la asignación y la tercera dedicada a la asignación realizada por nosotros para la producción a ejecutarse en ese período.

h) La última de la tabla será dedicada a totalizar la producción realmente asignada a cada período.

i) Una vez establecido el cuadro, se atenderá sucesivamente la demanda de cada mes, es decir, primero la de Enero, después Febrero, etc., y en cada caso asociaremos la satisfacción de la demanda a la posibilidad de ejecutarla de la forma más económica, hasta su agotamiento. Para ello, cada vez que designemos parte de la producción potencial a una demanda, inscribiremos el valor correspondiente en la primera subfila de la casilla, en la segunda los costos asociados y en la tercera efectuaremos las sustracciones a la capacidad para conocer el remanente que queda para la eventual utilización en los meses siguientes.

Para atender las unidades de demanda de cada mes, utilizamos en primer lugar las posibilidades de producción en el mismo mes en horas normales, agotada esta fuente, las restantes unidades que falten debemos producirlas en la alternativa que garantice el menor costo posible.

Si en un mes determinado, no alcanza la capacidad en horas normales ni la de horas extraordinarias, se pasa a buscar la capacidad que ha quedado en los meses anteriores y se acomete la producción en aquel mes que se corresponda con el menor costo, ya sea en horas normales o extras.

Resulta factible en el método considerar la existencia de un inventario inicial (considerado en la demanda rectificadora) o de un inventario final deseado (agregado a la demanda rectificadora del último período).

De la misma forma, debe tenerse claro que cuando se trabaja con subcontratación no se considera un costo por inventario, pues no importará con cuánta anticipación hagamos el pedido al subcontratista, el siempre entregará por el mismo precio y en la fecha deseada.

El método utilizado para encontrar este plan, a pesar de su aparente sencillez, conduce a la solución óptima en las condiciones indicadas intentando que nunca sea necesario diferir la demanda o retrasar las entregas. En el caso en que tuviéramos este problema deberemos utilizar las casillas de las subcolumnas correspondientes a la ruptura de stock.

Llegar a la solución óptima en este caso no podría lograrse de una forma tan sencilla como antes. Normalmente lo que se consideraría sería proceder primero a asignar la producción sin tener en cuenta la posibilidad de diferir, y posteriormente intentar mejorar la solución hallada mediante utilización de dicha posibilidad.

A manera de ejemplo desarrollaremos el caso tratado, considerando que no existe posibilidad de diferir producción y que analizaremos para simplificar sólo los costos de producción en horas extras y normales.

MES	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	20160	6360	21120	7320	21120	7320	20160	6360	22080	8280	20160	6360	20460	6360	7680	2160	19200	5400	19200	5400	18240	5130	21120	7320
	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7
ENE 23000	20160	6360																						
	6	7																						
	20160	2840																						
FEB 23200	-	3520	21120	7320																				
	-	9	6	7																				
	-	-	21120	2080																				
MAR 21900	-	3520	-	5240	21120	7320																		
	-	11	-	9	6	7																		
	-	-	-	-	21120	780																		
ABR 22900	-	3520	-	5240	-	6540	20160	6360																
	-	13	-	11	-	9	6	7																
	-	-	-	-	-	-	20160	2740																
MAY 23100	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	22080	8280														
	-	15	-	13	-	11	-	9	6	7														
	-	-	-	-	-	-	-	-	22080	1020														
JUN 23000	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	-	7260	20160	6360												
	-	17	-	15	-	13	-	11	-	9	6	7												
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20160	2840												
JUL 25530	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	-	7260	-	3520	20160	6360										
	-	19	-	17	-	15	-	13	-	11	-	9	6	7										
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20160	5370										
AGO 18040	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	-	7260	-	3520	-	990	7680	2160								
	-	21	-	19	-	17	-	15	-	13	-	11	-	9	6	7								
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3690	-	3520	-	990	7680	2160								
SEP 19030	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	-	3570	-	-	-	-	-	-	19200	5400						
	-	23	-	21	-	19	-	17	-	15	-	-	-	-	-	-	6	7						
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19030	-						
OCT 18120	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	-	3570	-	-	-	-	-	-	170	5400	19200	5400				
	-	25	-	23	-	21	-	19	-	17	-	-	-	-	-	-	8	9	6	7				
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18120	-				
NOV 20180	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	-	3570	-	-	-	-	-	-	170	5400	1080	5400	18240	5130		
	-	27	-	25	-	23	-	21	-	19	-	-	-	-	-	-	10	11	8	9	6	7		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18240	1940		
DIC 17800	-	3520	-	5240	-	6540	-	3620	-	3570	-	-	-	-	-	-	170	5400	1080	5400	-	3190	21120	7320
	-	29	-	27	-	25	-	23	-	21	-	-	-	-	-	-	12	13	10	11	-	9	6	7
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17800	-
PLAN PROD	20160	2840	21120	2080	21120	780	20160	2740	22080	4710	20160	6360	20160	6360	7680	2160	19030	-	18120	-	18240	1940	17800	-

El cálculo de los costos para el ejemplo anterior serán obtenidos a partir del producto de aquellos valores que se deciden (situados en la tercera fila de cada mes) por su costo correspondiente situado en las casillas inmediatas superiores:

Enero: Costo Total =  $20160 \text{ u./mes} * \$ 6.00/\text{u.} + 2840 \text{ u./mes} * \$ 7.00 /\text{u} = \$120960/\text{mes} + \$19880 /\text{mes} = \$ 140840/\text{mes}$

Febrero: CT= \$ 141280/mes

Marzo: CT = \$ 132180/mes

Abril: CT = \$ 140140/mes

Mayo: CT = \$ 187590/mes

Junio: CT = \$ 179560/mes

Julio: CT = \$ 167460/mes

Agosto: CT = \$ 61200/mes

Septiembre: CT= \$ 114180 /mes

Octubre: CT = \$ 108720/mes

Noviembre: CT = \$ 123020/mes

Diciembre: CT = \$ 106800/mes

### **3.4 Programación Lineal**

La aplicación de la programación lineal a la planeación agregada, permite encontrar soluciones óptimas y supone aceptar una relación lineal entre todas las variables, lo cual no siempre es razonable (por ejemplo, el costo de ruptura de stock para pocas unidades es prácticamente nulo,

sin embargo, para muchas unidades, probablemente suponga la pérdida del cliente), (SÁNCHEZ y ORDÁS 1993).

Según (NARASIMHAN, SEETHARAMA L.; MCLEAVEY y BILLINGTON 1996), los modelos de programación lineal, en contraposición con el método tabular, penaliza los cambios por ritmo de producción debido a la contratación o despido, parte de que debido a la precisión del modelo no se requiere de stock de seguridad, no permite los costos por ruptura, entre otros costos o restricciones que no coloca el método tabular. A pesar de todo, es capaz de proponer una estrategia combinada que minimiza el costo total.

Un modelo sencillo de programación lineal pudiera partir de las siguientes suposiciones:

1) La demanda es conocida.

2) Los costos de producción en horas normales son lineales y se pretende garantizar la utilización por completo de las capacidades en tiempo normal, antes el tiempo extra y este antes de utilizar la subcontratación.

$$C_3 \succ C_2 \succ C_1$$

$C_1$ : Costos de producción en horas normales.

$C_2$ : Costos de producción en horas extras.

$C_3$ : Costos de producción por concepto de subcontratación.

3) Se consideran los costos por cambio de ritmo (función lineal) y por inventarios, las capacidades disponibles y los niveles de ventas deseados.

El modelo de programación lineal presentado a continuación pretende minimizar los costos totales de producción. La función objetivo y las restricciones son:

$$k \quad k \quad k \quad k \quad k$$

$$\text{Min } C = r \sum P_t + h \sum A_t + f \sum R_t + v \sum O_t + c \sum I_t$$

$$i=1 \quad i=1 \quad i=1 \quad i=1 \quad i=1$$

Sujeto a las restricciones:

$$P_t \leq M_t; \quad t= 1, 2, \dots, k$$

$$O_t \leq Y_t; \quad t= 1, 2, \dots, k$$

$$I_t = I_{t-1} + P_t + O_t - D_t; \quad t= 1, 2, \dots, k$$

$$A_t \geq P_t - P_{t-1}; \quad t= 1, 2, \dots, k$$

$$R_t \geq P_{t-1} - P_t; \quad t= 1, 2, \dots, k$$

y todos,

$$A_t, R_t, I_t, P_t, O_t \geq 0$$

donde :

r : Costo de producción por concepto de producir en tiempo normal.

v : Costo de producción por concepto de producir en tiempo extra.

h : Costo de producción por concepto de contratación de personal para la realización de una producción dada.

f : Costo de producción por concepto de despido de personal.

c : Costo por concepto de poseer inventarios por unidad de período.

$D_t$  : Previsión de la demanda para el período dado.

$P_t$  : Producción realizada en tiempo de trabajo normal.

$O_t$  : Producción realizada en tiempo de trabajo extra.

$M_t$  : Capacidad de producción en tiempo normal de trabajo.

$Y_t$  : Capacidad de producción en tiempo extra de trabajo.

$A_t$  . Aumento de producción de un período a otro consecutivo.

$R_t$  : Disminución de producción de un período a otro consecutivo.

$I_t$  . Inventario existente en el período dado.

Otros modelos incluyen restricciones o costos adicionales en su análisis como son:

- ✓ Definen un costo por unidad de producción de donde se excluye el costo por la fuerza laboral (tiempo normal o extra).
- ✓ Costos por salidas o ventas de la producción.
- ✓ Costos por la no utilización plena de la capacidad en tiempo normal.

Un ejemplo de la aplicación de este modelo planteado por (NARASIMHAN, SEETHARAMA L.; MCLEAVEY y BILLINGTON 1996) es:

Determine los niveles óptimos de producción y fuerza laboral para una empresa que posee las siguientes informaciones:

$D_1= 200$  unidades.  $D_2 =50$  unidades.  $D_3 =75$  unidades.  $v= \$15/\text{unidad}$   $c= \$5/\text{unidad}$

$h= \$30/\text{unidad}$   $M_1=180$   $M_2=120$   $M_3=120$   $f= \$10/\text{unidad}$   $r= \$10/\text{unidad}$

$P_0=150$   $Y_1 =30$   $Y_2 =20$   $Y_3 =20$   $I_0 =0$

No se permiten órdenes pendientes de surtir.

$\text{Min } C= 10(P_1 + P_2 + P_3) + 30 (A_1 + A_2 + A_3) + 10(R_1 + R_2 + R_3) + 15(O_1 + O_2 + O_3) + 5 (I_1 + I_2 + I_3)$

Sujeto a:



$P_1 \leq 180$	$P_2 \leq 120$	$P_3 \leq 120$	$O_1 \leq 30$	$O_2 \leq 20$
$O_3 \leq 20$	$P_2 + O_2 + I_1 - I_2 = 50$	$P_3 + O_3 + I_2 - I_3 = 75$	$P_1 - A_1 \leq 150$	$-P_1 + P_2 - A_2 \leq 0$
$-P_2 + P_3 - A_3 \leq 0$	$P_1 + R_1 \geq 150$	$-P_1 + P_2 + R_2 \geq 0$	$-P_2 + P_3 + R_3 \geq 0$	
$P, O, A, R, I_t \geq 0$				

La solución es la que se muestra:

$$P_1 = 170 \quad P_2 = 62.5 \quad P_3 = 62.5 \quad O_1 = 30 \quad O_2 = 0 \quad O_3 = 0 \quad I_1 = 30 \quad I_2 = 12.5 \quad I_3 = 0 \quad A_1 = 20 \quad A_2 = 0 \quad A_3 = 0$$

$$R_1 = 0 \quad R_2 = 107.5 \quad R_3 = 0 \quad C = \$5137.50$$

### Bibliografía

1. COMPANYS PASCUAL, R. *Planificación y Programación de la Producción*. 1ra. Barcelona, España, MARCOMBO S.A., 1989.
2. COMPANYS, R. *Previsión tecnológica de la demanda*. Barcelona, 1990.
3. DÍAZ, A. *Producción Gestión y Control*. Barcelona., 1993. 663 Editorial Ariel, Economía S.A.
4. DILWORTH, J. *Production and Operation Management. Manufacturing and Nonmanufacturing.*, Ed. Random House, 1989.
5. GOLDRATT, E. M. Cox *La meta. Un proceso de mejora continuo*, 2005.
6. KOONTZ, H. y C. O'DONELL. *Principios de Dirección de Empresa*. 2da. U.S.A., MCGRAW-HILL, 1965.

7. NARASIMHAN, S. L.; D. W. MCLEAVEY y P. J. BILLINGTON. *Planeación de la producción y control de inventarios*. 2da. México D. F, Editado Prentice Hall Hispanoamericana S.A, 1996. 707 ISBN: 968-880-739-7,
8. SÁNCHEZ, E. F. y C. J. V. ORDÁS. *Dirección de la producción*. 1993. 8447002632,
9. SCHROEDER, R. *Administración de Operaciones. casos y conceptos contemporáneos*. Segunda Edición. México D.F., 2011. 589 ISBN: 970-10-4653-6,