

## Modelos y fórmulas de aplicación en los Procesos de Producción Coordinados

**Enrique Martínez Viladesau**

Ingeniero Industrial. Colegiado en el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Cataluña.

### Resumen

*Cuando se utilizan los mismos Medios de Producción para fabricar diferentes productos o variedades de un mismo producto, será necesario Planificar la Producción de tal forma que los Lanzamientos cumplan con unas leyes de COORDINACIÓN. Se trata de que cada uno de los Tamaños de Lote esté calculado y previsto que se fabrique justo cuando se van a necesitar para su venta, utilizando el mínimo de Recursos Productivos. De esta forma se ofrece un buen servicio a la clientela, a la vez que se utiliza la mínima cantidad de Unidades Productivas y no se inmoviliza un exceso de dinero en Stock en el Almacén. Los diferentes modelos de Organización de la Producción que pueden existir en distintas industrias, deberán cumplir con esta Condición. Para hacerla cumplir; aplicaremos unas fórmulas matemáticas en las que se tienen en cuenta todas las variables que intervienen. En el presente Trabajo presentamos los casos de “flujo intermitente”, término que lo utilizamos para establecer la distinción con respecto a la fabricación “en cadena”.*

**Palabras clave:** Modelos en los Procesos de Producción

### 1. Conceptos que utilizaremos.

En los modelos que expondremos utilizaremos los siguientes conceptos.

**FLUJO INTERMITENTE:** Se refiere a la forma en que se transfieren los productos en proceso de fabricación, de una Fase a la siguiente. Las unidades del producto semielaborado se transfieren por Lotes de unidades; NO de unidad en unidad de producto como ocurre en los procesos “en cadena” (Martínez Viladesau). **UNIDAD PRODUCTIVA:** Definimos a la Unidad Productiva como el conjunto formado por personas que auxiliándose de los medios necesarios son capaces de fabricar cualquiera de las Fases de Fabricación de los modelos de producto. El conjunto puede estar formado por un solo elemento o bien por un equipo de personas. Una (UP) también puede contener a la totalidad de la plantilla de la Mano de Obra Directa de la Empresa. En este caso diremos que toda la Empresa funciona como una sola (UP). Si se han repartido las Fases de Fabricación entre diferentes Puestos de Trabajo (PT) y a cada uno de estos (PT) se le ha asignado diferentes o iguales cantidades de personas, a cada uno de estos conjuntos los consideraremos como una (UP). O sea, en el caso de considerarse la intervención de varias (UP), lo que las distingue es su cantidad de elementos y/o su diferente especialización en el trabajo. **DATOS DESGLOSADOS:** Será una forma de indicar de que se dispone de los datos correspondientes a las Producciones Diarias (PD) y a los Tiempos de Preparación (TP) desglosados por sus correspondientes Fases de Fabricación. En caso contrario se dispondrá de datos “globales”, o sea, solo de las (PD) que se obtienen al final del proceso de cada uno de los productos. **CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO:** Un proceso de fabricación puede programarse para que se produzcan tiempos de espera, o de interrupción, entre las Fases. Les llamaremos “Tiempos Entre Fases” (TEF). Consideraremos que estos procesos se realizan “con interrupción”. En caso contrario serán “sin interrupción”.

Desde el punto de vista de la homogeneidad de los trabajos a realizar, podríamos hacer la



El anterior diseño corresponde a dos productos “A” y “B” con tres Fases de Fabricación (F1), (F2) y (F3), cuyos Tiempos de Empleo (TE) se ha calculado que son:  $(TE)_1$ ,  $(TE)_2$  y  $(TE)_3$ . En este diseño se ha supuesto que los dos Modelos requieren el mismo número de Fases de Fabricación; aunque también puede considerarse la posibilidad de que los productos tengan distinta cantidad de Fases de Fabricación.

Otro tipo de Proceso puede que requiera el dejar un tiempo libre (TEF), o un tiempo de reposo, entre cada una o entre algunas de sus Fases de Fabricación. El diseño de un (IR) para el caso de dos MODELOS: “A” y “B” y que tienen distinta cantidad de Fases, lo representaremos mediante:

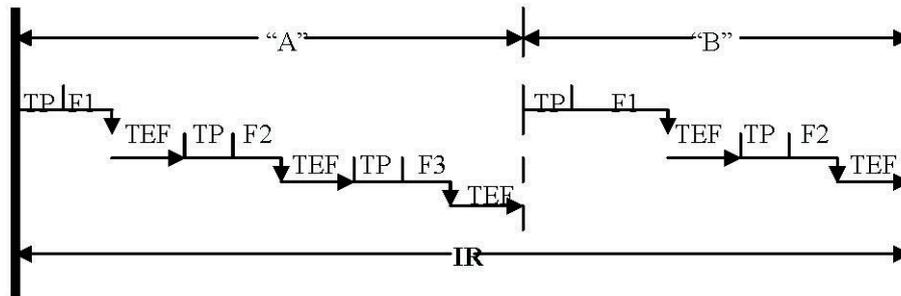


Figura 3.

Las expresiones  $(F)_i$  representan los Tiempos de Empleo utilizados en la Fase (i). Los (TEF) no tienen el porque aparecer en cada uno de los finales de Fase ni tampoco tener el mismo valor.

Los anteriores diseños del (IR) quizás se ajusten mejor al caso en que actúa “Una Sola UP”. Esta (UP), que puede que esté compuesta por una sola persona o bien por “toda la Empresa”, se considera que va realizando o “pasando” por las distintas Fases de Fabricación de los productos.

Si se considera que actúan distintas (UP) situaremos cada una de ellas en los distintos Puestos de Trabajo (PT) por donde deba pasar el Lote de cada uno de los productos. Podemos representar uno de estos casos, en los que existan “Tiempos Entre Fases” (TEF) mediante:

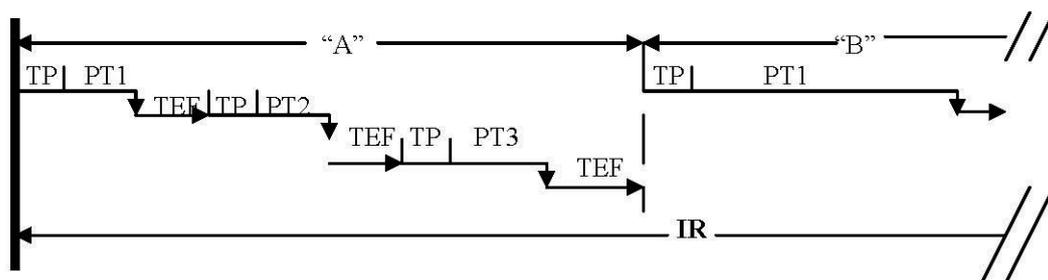


Figura 4.

(Nota: Por necesidad de espacio, la longitud del Tiempo de Empleo (TE) la identificamos con la misma en la aparecen las siglas de su correspondiente Puesto de Trabajo (PT)).

Es evidente que en este tipo de Organización de la Producción, cuando una (UP) termina de realizar el trabajo correspondiente a su (PT), quedará libre hasta la fabricación del siguiente producto. A este tiempo le llamaremos “Tiempo Fuera de Programación” (TFP).

En las anteriores representaciones no se han indicado que Tipo de Trabajo correspondía realizar en cada una de las Fases de Fabricación. Cuando se trata de modelos de un mismo producto, en las que las variables pueden ser, por ejemplo, el peso, el color..., es posible que las Fases de Fabricación ya identifiquen el Tipo de Trabajo a realizar. Cuando se trate de distintos productos, quizás muy heterogéneos, es posible que el identificar en el (IR) la clase de trabajo a realizar nos ayude a interpretar las fórmulas de aplicación. Pongamos como ejemplo la Planificación de tres productos: “A”, “B” y “C” representados en la siguiente Figura, y en las que: S, T, M, D, F representan diferentes nombres de Máquinas o Puestos de Trabajo, y sus longitudes expresan la duración de sus Tiempos de Empleo (TE):

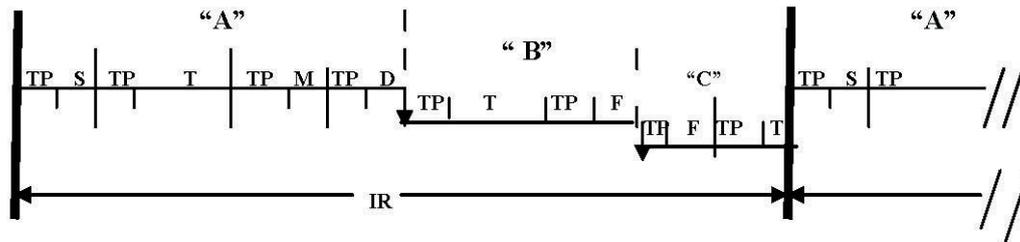


Figura 5.

Esta Figura podría servir como modelo de un Proceso de Fabricación en el que se utilizasen cinco tipos de máquina diferentes. Podrían ser, por ejemplo: S = Sierra; T = Torno; M= Mandrinadora; D= Dentadora; F=Fresadora. Observe que los PRODUCTOS utilizan las mismas o bien diferentes máquinas en un mismo número de orden de Fase de Fabricación. Además, el empleo de las máquinas no tienen el porqué coincidir en un mismo número de orden de la Fases de Fabricación. También habrá que considerar los “Tiempos Fuera de Programación” (TFP). Si se considera que actúa “Una Sola Unidad Productiva” en los (TFP) quedarán libres solo la maquinaria, no la Mano de Obra Directa que interviene en el proceso de fabricación. Si la Producción está organizada de tal forma que se considera que actúan varias Unidades Productivas en los (TFP) quedarán libres tanto la maquinaria como la persona o equipo de personas que integran la Unidad Productiva en cada Puesto de Trabajo.

### 3. Condición necesaria en los Procesos con Lanzamientos Coordinados

Para que las fórmulas que exponemos permitan cumplir con las leyes de Coordinación, una condición necesaria será que, durante todo el periodo de tiempo de vigencia de la Planificación, se conserve el mismo orden en la secuencia de los Lanzamientos de los productos. Esta es la única condición a cumplir ya que otras características no afectarán a la validez de las fórmulas. Estas otras características pueden ser: el no ser necesario que la fabricación de los productos que se programan juntos, requieran los mismos Tipos de Trabajo ni igual variedad y cantidad de los mismos (fabricación de productos heterogéneos, expuestos en el anterior IR). Además, a no ser que lo exija el proceso de fabricación, para un conjunto de modelos de un mismo producto tampoco será necesario que al planificar se fije, para todos los modelos, el que se observe el mismo orden de secuencia entre las Fases de Fabricación.

### 4. Formulas de aplicación

En este párrafo exponemos las fórmulas que se aplicarán para obtener determinadas respuestas aplicadas a los modelos del (IR) dados anteriormente. Más adelante plantearemos las ecuaciones que conducen a obtener estas fórmulas. Veremos que en su planteamiento se utilizan los conceptos de Intervalo de Repetición (IR) y de Carga de un Producto (c) (Martínez Viladesau).

#### 4.1. Tiempo de empleo (TE)

El tiempo en que una o varias (UP) deberán estar empleadas en la fabricación del Lote de un producto, dentro del periodo de tiempo que abarca la amplitud de un Intervalo de Repetición (IR), lo calcularemos mediante:

$$(TE)_i = (TD / NL) \times (c)_i \times HL \quad (1)$$

En la que:  $(TE)_i$  = Tiempo de Empleo (Horas laborables) para el producto (i);

TD = Tiempo Disponible. Cantidad de días laborables dentro del periodo de tiempo en que estará vigente la Planificación de la Producción. Se obtendrán mediante la observación del Calendario Laboral de la Empresa. NL = Número de Lanzamientos que se ha previsto realizar durante el “Tiempo de vigencia de la Planificación” (TVP). El (TVP) estará acorde con el periodo de validez de las Previsiones de Venta, quizás mejor decir, con el Plan Financiero de la Empresa.  $(c)_i$  = Carga del Producto (i); HL= Horas Laborables al día.

#### 4.2. Tamaño del lote de cada lanzamiento

El Tamaño del Lote a fabricar de cada uno de los productos programados será:

$$(L)_i = (DP)_i / NL \quad (2)$$

En donde:  $(L)_i$  = Tamaño del Lote a fabricar del producto (i);  $(DP)_i$  = Demanda a Producción del producto (i). Es la Demanda que realmente debe fabricar el Departamento de Producción, teniendo en cuenta las Previsiones de Venta que ha realizado el Departamento Comercial y la Existencia en el Almacén de Producto Acabado; NL = Numero de Lanzamientos a realizar

#### 4.3. Carga de producción

Al proceder a la Planificación de la Producción de diferentes productos, en primer lugar debemos averiguar si la “CARGA DE PRODUCCIÓN” que vamos a asignar realmente puede realizarse; es decir, comprobar si se tiene suficiente CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN. Para esto tendremos en cuenta la suma de las CARGAS DE LOS PRODUCTOS (c) que se quieren programar juntos y el Número de Lanzamientos (NL) que queremos asignarles. Recordemos que un número elevado de Lanzamientos (NL) puede que merme tanto Tiempo Disponible (TD) que no se disponga de suficiente Capacidad de Producción para la Carga que queremos asignar a la Unidad Productiva.

Las fórmulas que permiten calcular el Número de Lanzamientos (NL) en función del Tiempo Libre (TL) que queremos que nos quede, así como el Número de Lanzamientos Límite y el (TL) será algo distinta según el modelo de (IR) que utilicemos.

##### 4.3.1 Modelo 1. “Una sola UP”. Datos “globales” y también “desglosados sin interrupción”

###### Numero de lanzamientos (NL)

Aplicamos la fórmula:

$$NL = (TD \times HL \times (1 - \sum (c))) / (TL + \sum TP) \quad (3)$$

Si la variable (TD) la expresamos en DIAS las cantidades correspondientes a las variables (TL) y (HL) deben expresarse en HORAS. (A no ser que se suprima la intervención de la variable Horas Laborable (HL) que transforma los días en horas) La  $\sum (c)$  es la suma de las Cargas de Producto de todos los productos programados. La  $\sum TP$  es la suma correspondiente a UNA preparación de cada uno de los productos programados.

### Número de lanzamientos límite (NL)<sub>1</sub>

Cuanto mayor sea el Número de Lanzamientos que se realicen, mayor será la cantidad de Tiempo Disponible absorbido por los Tiempos de Preparación de la Unidad Productiva. El Numero de Lanzamientos Limite (NL)<sub>1</sub>, o sea la cantidad de Lanzamientos para el cual se saturará al 100 % una (UP), (recuerde que estamos considerando que se utiliza “Una Sola Unidad Productiva”), se calculará mediante:

$$(NL)_1 = (TD \times HL \times (1 - \sum (c))) / \sum TP \quad (4)$$

Para una cifra superior a (NL)<sub>1</sub> no podríamos fabricar las cifras de las Demandas que exigen las Previsiones de Ventas.

### Tiempo libre en función del número de lanzamientos (TL)

El Tiempo Libre (TL) en función del Número de Lanzamientos (NL) se calcula mediante:

$$TL = [ (TD \times HL \times (1 - \sum (c)) - NL \times (\sum TP) ] / NL \quad (5)$$

### 4.3.2 Modelo 2. “Una sola UP”. Datos “desglosados con interrupción”

Las formulas a aplicar solo difieren del MODELO 1 en que deberemos añadirles el tiempo de espera entre fases (TEF) que, al Planificar la Producción, se ha previsto dejar. (Son las “interrupciones”)

#### Numero de lanzamientos: (NL)

La fórmula que permite calcular el (NL) en función del Tiempo Libre (TL) que queremos que nos quede, será:

$$NL = (TD \times HL \times (1 - \sum (c))) / (TL + \sum TP + \sum TEF) \quad (6)$$

En la  $\sum TEF$  se incluyen todos los tiempos fuera de la fabricación que se prevé que se van a producir entre las distintas Fases de Fabricación.

#### Numero de lanzamientos limite (NL)<sub>1</sub>

La cantidad de Lanzamientos para el cual se saturará al 100 % la (UP),se calculará mediante:

$$(NL)_1 = (TD \times HL \times (1 - \sum (c))) / (\sum TP + \sum TEF) \quad (7)$$

#### Tiempo libre (TL)

El (TL) en función del Número de Lanzamientos (NL) se calcula mediante:

$$TL = [ (TD \times HL \times (1 - \sum (c)) - NL \times (\sum TP + \sum TEF) ] / NL \quad (8)$$

### 4.3.3 Modelo 3. Varias (UP). Datos Desglosados Sin y Con Interrupción.

A diferencia de los anteriores casos, ahora consideramos la intervención de Varias (UP).

En cada (PT) estarán asignadas una o más de una (UP). Las (UP) pueden ser iguales o diferentes en cuanto a cantidad de elementos del conjunto o bien en especialidad en el trabajo. Hacemos resaltar que esta forma de organización hace que las (UP) asignadas a un (PT), una vez realizado el trabajo correspondiente a este (PT) y en la totalidad del Lote, quedará a la espera de la fabricación de un nuevo producto; se produce un (TFP).

#### Cantidad de (UP)

De acuerdo con la Carga de los Productos (Carga de Trabajo)  $\sum (c)$  y en función del Número de Lanzamientos (NL) la cantidad (Q) de (UP) que deben repartirse entre los distintos (PT), en el caso “con interrupciones” se calcula mediante:

$$Q = \sum (c) / ( HL - ((NL \times (\sum TEF + \sum TP + TL) / TD) ) \quad (9)$$

Como el valor de la variable (TD) la expresaremos en DIAS, tanto la  $\sum TEF$  como el TL deben expresarse en DIAS LABORABLES.

En el caso: “sin interrupciones” aplicaremos la misma fórmula suprimiendo la intervención de la variable  $\sum TEF$ .

#### Número de lanzamientos en función del valor de (Q)

Disponiendo de cierta cantidad (Q) de elementos valederos para formar (UP), podemos calcular el Numero de Lanzamientos que se podrían realizar sin que se diese el caso de no tener suficiente Capacidad de Producción. La fórmula que aplicaremos será:

$$NL = (Q \times TD \times HL - TD \times \sum (c)) / (Q \times (\sum TEF + \sum TP + TL)) \quad (10)$$

Podemos suponer que (Q) es el valor que se ha calculado mediante la anterior fórmula o bien cualquier otro valor que lo utilizamos para realizar ensayos. En el caso “sin interrupción” se eliminará la variable  $\sum TEF$ .

#### Número de lanzamientos limite (NL)<sub>1</sub>

Para calcular un valor del (NL)<sub>1</sub> podemos ensayar con distintos valores de la variable (Q), o bien asignar el valor (Q) que se ha obtenido aplicando la anterior Fórmula:  $Q = f(NL)$ . Esta cantidad (Q) es la que debería disponer la Empresa si es que se quería operar precisamente con aquel (NL) predeterminado. En esta circunstancia aplicaremos la fórmula:

$$(NL)_1 = (Q \times TD \times HL - TD \times \sum (c)) / (Q \times (\sum TEF + \sum TP)) \quad (11)$$

Se trata de la misma fórmula dada anteriormente en la que se supone que NO queda Tiempo Libre. Al aplicar un valor de (Q) que es la que realmente debería disponer la Empresa, el valor Limite del (NL) es evidente que deberá ser el mismo que la cifra que sirvió para determinar a aquel valor de Q en el caso de no dejar (TL).

### Tiempo libre (tl) en función del número de lanzamientos

Aplicaremos la fórmula:

$$TL = Q \times [TD \times HL - (NL \times \sum TP) - (NL \times \sum TEF)] - TD \times \sum (c) / (Q \times NL) \quad (12)$$

### Reparto de (q) entre los distintos puestos de trabajo (PT)

Sabemos que la cifra global (Q) correspondiente a la cantidad de elementos a emplear, debe repartirse entre los distintos Puestos de Trabajo que realizan las diferentes Fases de Fabricación de los Modelos. La forma de repartirlo será:

$$(q)_i = \frac{Q}{(PD)_i \times I} \quad (13)$$

En donde:  $(q)_i$  = Cantidad de (UP) que deben asignarse al Puesto de Trabajo "i", o sea al  $(PT)_i$  ;  $(PD)_i$  = Producción Diaria que puede obtener una (UP) en el  $(PT)_i$  .

Siendo (I) la suma de los valores inversos de las Producciones Diarias (PD) que se obtienen en las diferentes Fases de Fabricación: 1 , 2 , 3 , ... n. O sea:

$$I = \frac{1}{(PD)_1} + \frac{1}{(PD)_2} + \frac{1}{(PD)_3} + \dots + \frac{1}{(PD)_n} \quad (14)$$

### 5. Planteamiento de las fórmulas

El significado de las variables que utilizaremos, ya ha sido definido al exponer las fórmulas.

**Fórmula nº 1.** Nos apoyamos en el concepto de Carga del Producto: (c) (Martínez Viladesau) Como  $(L)_i = (DD)_i \times IR$  (Siendo  $(DD)_i$  la Demanda Diaria estimada para el producto (i), el Lote de Fabricación debe cubrir esta Demanda dentro de un espacio de tiempo igual al IR) y como también  $(L)_i = (PD \times TE)_i \Rightarrow (TE)_i = ((DD)_i \times IR) / (PD)_i$ , por lo que  $(TE)_i = [(DD/PD)_i \times IR]$  Llamando "Carga del Producto" a:  $(c)_i = (DD/PD)_i$ , se obtiene:

$(TE)_i = (c)_i \times IR = (c)_i \times (TD / NL)$  .(Este (TE) vendrá expresado en días. Lo multiplicamos por (HL) para pasarlo a horas laborables)

**Fórmula nº 2.** Directamente:  $(L)_i = (DP)_i / NL$  (La Demanda a Producción, durante el periodo de vigencia de la Planificación, debe repartirse entre en Numero de Lanzamientos (NL) que se ha planificado realizar).

**Fórmula nº 3.** El Tiempo Disponible (TD), expresado en horas, del periodo de vigencia de la Planificación, lo igualamos al total de los distintos conceptos de tiempo que hay que tener en cuenta dentro de un (IR) y que corresponden a todos los productos programados; o sea, se trata de considerar los conceptos:  $\sum(TE)$ ,  $\sum(TP)$  y  $(TL) \Rightarrow TD \times HL = [ (IR \times \sum (c)) + \sum TP + TL ] \times NL$  De aquí se deduce el (NL). (Como  $TD \times HL$  equivale a "horas", el resto de tiempos deben expresarse en esta unidad. Recuerde que el (TL) se deja al final de cada (IR).

**Fórmula nº 4.** La misma deducción que en la anterior Fórmula, en la que se supone:  $TL = 0$ .

**Fórmula nº 5.** Se deduce del mismo planteamiento realizado en la Fórmula nº 3.

**Fórmula nº 6.** Mismo planteamiento que en la Fórmula nº 3, a la que incorporamos los "Tiempos

Entre Fases”  $\sum$  TEF.

**Fórmula nº 7.** Mismo planteamiento que la Fórmula nº 4 a la que incorporamos la  $\sum$  TEF.

**Fórmula nº 8.** Mismo planteamiento que la Fórmulas nº 5a la que incorporamos la  $\sum$  TEF.

**Fórmula nº 9.** Se utiliza el mismo planteamiento que en la Fórmula nº3, siendo “Q” igual a la cantidad de Unidades Productivas a utilizar.

$Q \times TD \times HL = [ (IR \times \sum (c)) + Q \times \sum TP + Q \times \sum TEF + Q \times TL ] \times NL$ . De aquí se deduce el valor de “Q”. En el caso “sin interrupción” se considerará  $\sum TEF = 0$ .

**Fórmula nº 10.** Mismo planteamiento que en la anterior Fórmula, para obtener NL.

**Fórmula nº 11.** Mismo planteamiento que en la Fórmula nº 10, considerando  $TL = 0$ .

**Fórmula nº 12.** Mismo planteamiento que en la Fórmula nº 9, de la que se deduce el valor: (TL).

**Fórmula nº 13.** La demostración es la misma que en el caso que se da en la fabricación “en cadena” (Martínez Viladesau). Las igualdades:  $(PD)_1 \times (UP)_1 = (PD)_2 \times (UP)_2 = \dots$  en el presente caso de flujo “intermitente” las planteamos para que todas las (UP) asignadas a distintos (PT) utilicen el mismo (TE) o, lo que es lo mismo, tengan el mismo (TFP). Es evidente que podríamos optar por tener en cuenta otras condiciones que no se tratan en el presente Trabajo.

## 6. Ejemplos

Presentamos unos ejemplos con el solo propósito de que sirvan como pauta a seguir en la recogida de datos. En su resolución se ha utilizado un programa informático que, por tener que limitar la extensión del presente Trabajo, no exponemos este Programa.

### 6.1. Ejemplo nº 1

Una industria fabrica tres Modelos: “a”, “b”, “c” de un producto. Se han hecho unas Previsiones de Venta para un año. Acorde con estas previsiones se quiere planificar sus lanzamientos a fabricación para un periodo de tiempo de un año. De acuerdo con el Calendario Laboral de la Empresa, la cantidad de días laborables que abarcará el periodo de la Planificación y la cantidad de horas laborables al día serán:  $PP = 280$  días Laborables y  $HL = 8$  horas/día laboral. Toda la industria actúa como Una Sola Unidad Productiva. Los tres Modelos requieren de dos Fases de Fabricación. Se conocen las Producciones Diarias que se obtienen en cada una de las Fases de Fabricación.. No se ha considerado la existencia de “Tiempos Entre Fases”.

*Queremos averiguar:* 1º. Numero de Lanzamientos Límite. 2º. Si se consideran  $NL = 20$  lanzamientos ¿Qué ocurre? 3º. Si se realizan  $NL = 10$  lanzamientos, calcular: El Tiempo Libre que quedará al final de cada Intervalo de Repetición. El Tiempo de Empleo (TE) en cada una de las Fases de cada Modelo. Los Tamaños de Lote para cada Modelo. 4º. Si queremos que al final de cada (IR) quede un  $TL = 8$  horas (un día), cual será el Número de Lanzamientos a utilizar.

Se dispone de los siguientes datos:

Tabla 1.

Modelo	Demanda a Producción	Nº de fase	Tiempo de Preparación	Producción Diaria
A	25.000	1	1,500	620
		2	0,500	530
B	40.000	1	1,00	750
		2	0,25	850
C	50.000	1	0,75	1.200
		2	0,25	1.260

(Los Tiempos de Preparación vienen expresados en Horas Laborables).

**Respuestas:** El primer paso será calcular la suma de Cargas. Esta cifra es:  $\sum (c) = 0,9616$ . Aplicando las Fórmulas, se obtendrá:

**Nº 1:**  $(NL)l = 20,23$  (Es evidente que en un caso real deberá utilizarse valores enteros. Consultar “Condiciones de validez de las formulas” (Martínez Viladesau)

**Nº 2:** Si se consideran  $NL=20$  se observará que no queda Tiempo Libre (TL). O sea la (UP) trabajará al 100 % de Saturación. Si se escogiese una cifra superior a esta cifra no se tendría suficiente Capacidad de Producción para fabricar todas las Demandas de los tres Modelos.

**Nº 3:** Para  $NL = 10$ , se obtiene:  $TL = 4,36$  horas.  $(TE)_{1A} = 4,032$  días;  $(TE)_{2A} = 4,718$  días;  $(TE)_{1B} = 5,334$  días;  $(TE)_{2B} = 4,707$  días;  $(TE)_{1C} = 4,166$  días;  $(TE)_{2C} = 3,968$  días. Tamaños de Lote  $\Rightarrow (L)_A = 2.500$  u.v. ;  $(L)_B = 4.000$  u.v.;  $(L)_C = 5.000$  u.v.. **Nº 4:**  $NL = 7$  lanzamientos.

**Comprobación:** Considerando que se realizan  $NL = 10$  lanzamientos, demostramos la validez de las fórmulas de la siguiente forma: Comprobamos que cada Lote fabricado cubre la Demanda que se solicitará durante un (IR). Además, si sumamos todos los (TE) junto con el Tiempo Libre:  $TL = 4,36/8 = 0,550$  días, y la suma de los Tiempos de Preparación:  $\sum TP = 4,25/8 = 0,531$  días, esta suma da: 28,00 días. Observamos que este resultado es igual al valor de la amplitud de un Intervalo de Repetición:  $IR = 280 / 10 = 28$  días laborables, por lo que no se sobrepasa la Capacidad de Producción de que se dispone.

## 6.2. Ejemplo nº 2

Utilizando los mismos datos del anterior Ejemplo, supongamos que se ha planificado que entre las Fases 1 y 2 debe dejarse un Tiempo Entre Fases:  $TEF = 1,00$  hora.

Tabla 2.

Modelo	Demanda a Producción	Nº de fase	Tiempo de Preparación	Tiempo entre fases	Producción Diaria
A	25.000	1	1,500	1,00	620
		2	0,500	0,00	530
B	40.000	1	1,00	1,00	750
		2	0,25	0,00	850
C	50.000	1	0,75	1,00	1.200
		2	0,25	0,00	1.260

Aplicando las fórmulas se obtendrá:  $(NL)_1 = 11,88$ . Para  $(NL) = 10$ , quedará un  $TL = 1,36$  h. Tanto los (TE) como los (L) no habrán cambiado con respecto a las cifras obtenidas en el anterior Ejemplo. Si queremos que al final de cada (IR) quede un  $TL = 8$  horas (un día laboral), el Numero de Lanzamientos a considerar será:  $NL = 5,65$ . Si aproximamos esta cifra “por defecto” el TL será algo mayor de 8 horas.

### 6.3. Ejemplo n° 3. Productos “heterogéneos”

En un proceso de “Fabricación en Lotes” se fabrican tres productos: “A”, “B” y “C” Los “Datos de Producción” de acuerdo con los (PT) en que se realizan son:

Tabla 3.

Puesto de trabajo	Producto	Nº orden de ejec.	Producción diaria	Tiempo de preparación	Demanda a Producción
S	A	1	200	0,250	6500
T	A	2	700	0,500	6500
	B	1	150	0,350	7000
	C	2	210	0,500	9500
	M	A	3	350	0,750
D	A	4	420	0,500	6500
F	B	2	320	0,250	7000
	C	1	230	0,350	9500

En esta Tabla, el Número de Orden de Ejecución indica el orden el que se realiza cada tipo de trabajo; el Tiempo de Preparación (TP) esta dado en horas laborables y la Demanda a Producción (DP) esta dada en unidades físicas de venta. La distribución de estos datos es precisamente el modelo de (IR) que hemos dado en el caso de “Productos Heterogéneos”.

Los (PT) podrían ser, por ejemplo: S = Sierra; T = Torno; M= Mandrinadora; D = Dentadora; F=Fresadora. Las Previsiones de Ventas están realizadas para un año (el año que se va a iniciar). En este año se han contabilizado: TD = 280 días laborables. La cantidad de horas laborables al DIA es: HL = 8,00 horas.

Se quiere averiguar: 1. Si se tiene suficiente Capacidad de Producción. 2. Cual es el Tiempo Libre (TL) que quedaría si se utilizara el  $(NL)_1$ . 3. Cual es el (TL) que quedaría si se utilizaran  $(NL) = 34$  lanzamientos y cuales serían los Tiempos de Fabricación de cada producto en cada uno de los Puestos de Trabajo y los Tamaños de Lote, para que se cumplan la condición de COORDINACIÓN entre los Lanzamientos.

**Respuestas.** 1. Al calcular el  $(NL)_1$  se obtiene:  $(NL)_1 = 114$ . Por ser  $(NL)_1 > 1$  se tiene suficiente Capacidad de Producción. 2.  $(TL) = 0$ . 3.  $(TL) = 8$  horas laborables. 4. Los Tamaños de Lote son:  $(L)_a = 191$ ;  $(L)_b = 206$ ;  $(L)_c = 279$ . Los (TE), expresados en días, para cada producto en cada uno de sus (PT) son: “A” => 0,96; 0,27; 0,55; 0,46. “B” => 1,37; 0,64. y “C” => 1,21; 1,33.

**Referencias**

Martínez Viladesau, E. (2005). Procesos en Cadena. Formulas a aplicar para obtener una perfecta coordinación entre los lanzamientos de los productos utilizando la mínima cantidad de Unidades Productivas. IX Congreso de Ingeniería de Organización. Gijón, 8 y 9 Septiembre 2005.

Salvendy, G. (2001). Handbook of Industrial Engineering. Wiley (3<sup>rd</sup> Ed).

Martínez Viladesau, E. (1980). Revista "Alta Dirección". Publicado en el nº 90 y 91, de fecha Mayo de 1980. Parte I y Parte II: "Estrategias Matemáticas en el Planeamiento de la Producción"