

Software Excel VBA programado para

**PLANIFICACION Y DISEÑO DE  
PROCESOS Y PLANTAS DE PRODUCCIÓN.**

para

PROCESOS MONO Y MULTIPRODUCTO

y modelos de gestión

MASS PRODUCTION Y LEAN MANAGEMENT

**MANUAL DEL USUARIO**

Lluís Cuatrecasas Arbós

Con este manual se pone a disposición del usuario el software para la planificación y diseño de procesos y plantas de producción, versión 2023, elaborado para el libro del mismo título y programas de formación de Lluís Cuatrecasas. Con él se pueden programar y diseñar toda suerte de procesos sean interconectados (teniendo en cuenta los vínculos que suponen tales conexiones) —caso de una planta productiva— o independientes. Asimismo, puede aplicarse a procesos diseñados ar un solo producto o de tipo multiproducto. Pero por encima de todo, este software está programado para efectuar, cuando sea procedente, dicha planificación, diseño y gestión de procesos, de acuerdo con la corriente de gestión más avanzada, el *Lean Management*.

# Paquete informático para el diseño de procesos para un producto y obtención de resultados

(DIS PROC-DIAG OT – Versión E3.)

## Presentación general

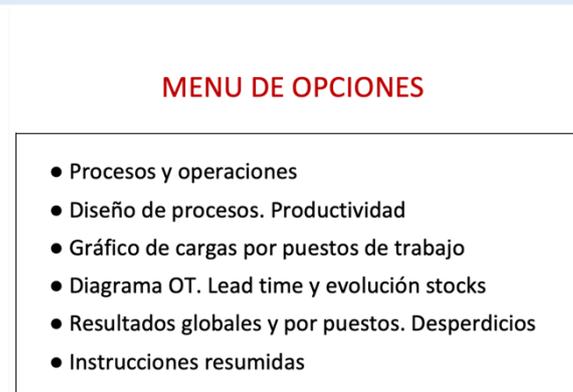
En esta guía de usuario encontramos, ante todo, la correspondiente al paquete desarrollado para el diseño de procesos para un determinado producto, con todo el detalle de tipos de tiempo, tiempos de ciclo resultantes y las herramientas necesarios para efectuar diseños que optimicen todos los parámetros de eficiencia posibles (productividad, tiempo de ejecución, stocks de diversa índole, etc.). Y, por supuesto, este software permite realizar todo ello de acuerdo con las dos tendencias de gestión imperantes en la actualidad: el más tradicional, conocido como *Mass Production* (o *Batch and Queue*) y el avanzado, el *Lean Management* según se ha comentado anteriormente.

La programación de este paquete —con el nombre DIS PROC-DIAG OT, y en su versión E4.0— se ha realizado con una base de cálculo *Excel*, pero programado en *lenguaje visual VBA*, teniendo con ello la ventaja de procesar la información de forma ágil y rápida y con un tamaño mucho menor, pese a la enorme cantidad y variedad de cálculos (base Excel) y la completa y esmerada presentación de los resultados (programación VBA). Para mayor comodidad, este programa está planteado por aspectos diferenciados por medio de menús con sus opciones.

Al abrir el programa éste presenta una pantalla con el título: «*Diseño de los procesos de un producto. diagrama operaciones –tiempos. resultados del diseño y simulación*» y, bajo el mismo, el menú principal, como puede verse en la figura 1.

DISEÑO DE LOS PROCESOS DE UN PRODUCTO. DIAGRAMA OPERACIONES –TIEMPOS. RESULTADOS DEL DISEÑO Y SIMULACIÓN.

Diseño de los procesos de producción y puestos de trabajo, con los modelos de gestión *Mass production* y *Lean Management*. Diseño de operaciones y suministros. Diagrama Operaciones – tiempos. Simulación y comparación de resultados. Magnitudes clave del diseño y su evolución: Tiempos de las operaciones y de trabajo, *Takt time*, *Stocks* medios y máximos, Calidad media y global, Desperdicios varios, Puestos de trabajo, Capacidad de producción, Productividad y Lead time.



1 - Menú principal

La primera opción del menú, etiquetada como «*Procesos y Operaciones*», contiene los datos de los procesos a diseñar: procesos, subprocesos y sus actividades, con sus tiempos de proceso (de trabajo y de máquina, si la hay), frecuencia de cada operación

en el conjunto del producto a obtener y otros datos, tal como expondremos más adelante, en el apartado dedicado a la guía del usuario, lo mismo que las demás opciones del menú que ahora estamos presentando. De hecho, las actividades que figuran en esta opción del menú son las que componen el proceso —Operaciones e Inspecciones. Sin embargo, todo proceso tiene otros tipos de actividades, concretamente, los transportes, las existencias y las esperas, tipos estos, que no se pueden evaluar desde fuera, sino que se generan por el propio funcionamiento de los procesos, una vez diseñados, motivo por el cual, se identifican desde el propio software. Con el botón «MENU» en la misma pantalla se puede regresar al Menú principal.

La segunda opción de dicho menú, etiquetada como «*Diseño de procesos. Productividad*», parte de los datos de la producción a obtener, tamaño de lotes y tiempo disponible para trabajar. A partir de ahí, en el recuadro *Parámetros para el diseño del sistema* realiza el diseño de todos y cada uno de los procesos, con sus puestos de trabajo, detallando la composición de cada uno, sus tiempos de ciclo, su capacidad productiva, identificando los cuellos de botella y determinando los parámetros del conjunto de todos los procesos, centrados en la capacidad de producción global y midiendo su productividad.

Desde el recuadro de parámetros citado, se puede orientar el diseño a la producción tradicional o el Lean Management, caso éste, que se basaría en lotes pequeños, un mínimo de actividades sin valor añadido y de tiempo de preparación y otros tiempos perdidos. Y, sobre todo, balancear los puestos de trabajo, igualando los tiempos del ciclo predominante —trabajador o máquina— lo que se constata con una capacidad de producción igual en todos los puestos (última columna). En la parte baja se obtiene la producción diaria del diseño realizado y la productividad del sistema.

Con el botón «*Diseño*» se puede focalizar la pantalla en la zona de diseño (que puede quedar escondida si se opera con una pantalla poco ancha) y con el botón «*Retorno inicio*» se regresa a la pantalla normal. Para volver a la pantalla con el menú principal presionar el botón «MENU» como antes.

A esta opción del menú le sigue una tercera, etiquetada como «*Gráfico de cargas por puestos de trabajo*», que evalúa las cargas de trabajo de cada puesto, a partir de la composición de tales cargas. Esto permite determinar fácilmente, hasta que punto el conjunto de procesos se halla equilibrado o balanceado y qué puestos y en qué medida no lo están. Esto es de la mayor importancia cuando se opera en Lean Management. En la pantalla se observa a la izquierda un menú de opciones compuesto por una primera «*Datos de tiempo de ciclo*» para ver en un cuadro con qué datos se opera y, para observar el gráfico correspondiente, se halla una segunda opción titulada «*Gráfico de balanceo*». El regreso al menú principal se lleva a cabo mediante la tercera opción del mismo menú con el título «MENU PRINCIPAL».

En dicho menú principal se halla la cuarta opción con el título «*Diagrama OT. Lead time y evolución stocks*», que está centrada en los parámetros que no han sido determinados en las dos opciones del menú anteriores, pero que deben optimizarse también, en especial los relacionados con los tiempos de ejecución o *lead time* y las *existencias* o *stocks* de todo tipo. Junto a ellos, se determinan los tiempos de espera y otros

parámetros de interés. Todo ello por medio de una herramienta gráfica, el *Diagrama OT*, que da nombre a la actual opción del menú principal, cuyos resultados, sin embargo, el software no sólo expone gráficamente, sino que también determina numéricamente. Una vez más con el botón «MENU» se regresa al menú principal.

Hasta aquí ya se dispondrá de todos los parámetros que importan para un diseño equilibrado y optimizado, por lo que la siguiente opción del programa, con el título «*Resultados globales y por puestos. Desperdicios*» muestra los resultados del conjunto del diseño, permitiendo comparar con otros diseños, parámetros a parámetros y puesto a puesto. Esta visión global y comparada de todos los aspectos del conjunto de procesos permiten identificar posibles mejoras a efectuar, volviendo sobre las pantallas de las opciones anteriores.

En la pantalla correspondiente a esta opción se halla también un menú a la izquierda con las opciones: «*Resultado global. Comparación 1ª*», «*Comparación 2ª. Stock máximo en supermercados*» y «*Métricas de operaciones*» que permiten focalizar la pantalla hacia la parte donde se hallan los datos y resultados correspondientes. La opción «*Resultado global. Comparación 1ª*» se observa de nuevo más abajo para poder regresar a la presentación normal. Finalmente, la opción «MENU PRINCIPAL» permite, como siempre, regresar a dicho menú.

Para concluir las opciones del programa, hay una última en el menú principal con el título de «*Instrucciones resumidas*» que en poco espacio muestra las principales instrucciones de este programa con una visión rápida y simplificada del funcionamiento del mismo tal como lo expone mucho más ampliamente esta guía.

## **Guía del usuario del paquete informático**

Tal y como ha sido expuesto, el programa consta de varias opciones, las del menú principal que han sido presentadas, y se accede a cada una de ellas a partir de dicho menú. Veamos pues cómo operan, una a una.

### **1. Opción del menú principal: PROCESOS Y OPERACIONES**

La figura 2 muestra la pantalla de esta opción del programa. En la cabecera, ha de introducirse el producto y conjunto de procesos a diseñar, junto con las unidades de tiempo a utilizar. El producto y procesos tomados como ejemplo son los que han sido desarrollados en el libro *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible* de Lluís Cuatrecasas, el autor de este software, desarrollado de acuerdo con las pautas del libro.

Debajo del mismo está la información de los procesos y las operaciones que los integran, junto a la información de interés de cada una de ellas. La citada figura muestra la pantalla correspondiente a un conjunto de procesos y operaciones a título de ejemplo (la pantalla está prevista para un total muy superior de operaciones a las del caso-

ejemplo utilizado en la figura (proceso de fabricación y montaje de un dispositivo reproductor de DVD).

## DISEÑO DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y DIAGRAMA OT

Determinación y gestión de magnitudes clave de diseño — Modelos *Mass production* y *Lean management*

Producto:  Procesos:  Ud. tiempo:  seg./hora:

### OPERACIONES Y TIEMPOS

Las operaciones han de definirse individualmente: han de ser un conjunto de tareas manuales o bien las tareas que precisa una máquina (solo una)

PROCESOS SUBPROCESOS	OPERACIÓN		FRECUENCIA Op. en una ud. producto final	MODELO: <i>Elimag - 100</i> TIEMPOS:		SISTEMA CONTROL para aseguramiento calidad en puestos
	Código	Descripción		Persona	Máquina	
<i>A: Fabricación de circuitos electrónicos</i>						
El código de operación se genera automáticamente al escribir su descripción						
Tiempos de máquina: tiempos sin operador						
A1: Circuito modulador de vídeo	1	Substitución rollos componentes y recarga placas PCB	0,02	750		Autocontrol
	2	Inserción de componentes en placa (AUTOMÁTICA)	1		100	Automático
	3	Descarga de PCB del rack del cargador	0,02	150		Poka-yoke
	4	Carga de PCB en máquina soldadura por baño de ola	0,02	300		Autocontrol
	5	Soldadura por baño de ola (AUTOMÁTICA)	1		30	Automático
	6	Descarga de PCB de la máquina soldadura	0,02	300		Poka-yoke
A2: Circuito amplificador de audio	7	Substitución rollos componentes y recarga placas PCB	0,02	750		Autocontrol
	8	Inserción de componentes en placa (AUTOMÁTICA)	1		90	Automático
	9	Descarga de PCB del rack del cargador	0,02	150		Poka-yoke
	10	Carga de PCB en máquina soldadura por baño de ola	0,02	300		Autocontrol
	11	Soldadura por baño de ola (AUTOMÁTICA)	1		30	Automático
	12	Descarga de PCB de la máquina soldadura	0,02	300		Poka-yoke
<i>B: Mecanismo de carga</i>						
B1: Mecanismo de carga	13	Insertar ruedas (juego)	1	12		Poka-yoke
	14	Insertar engranajes para apertura bandeja (juego)	1	40		Autocontrol
<i>C: Sevosistemas</i>						
C1: Dispositivos servomecánicos	15	Insertar motor rotatorio	1	7		Poka-yoke
	16	Insertar elevador de DVD	1	12		Poka-yoke
	17	Insertar circuito de control	1	12		Autocontrol
C2: Dispositivos servoeléctricos	18	Insertar sensores fotoeléctricos (juego)	1	15		Autocontrol
	19	Insertar motores de movimiento de óptica láser	1	22		Poka-yoke
C3: Ajustes	20	Ajustar dispositivos servoeléctricos	1	25		Autocontrol
	21	Ajustar dispositivos servomecánicos	1	20		Autocontrol
<i>D: Premontaje de circuitos</i>						
D1: Premontaje del panel electrónico	22	Insertar circuito microprocesador en el panel	1	15		Poka-yoke
	23	Insertar DSC audio y DAC vídeo	1	18		Poka-yoke
	24	Insertar circuito modulador de vídeo	1	10		Poka-yoke
	25	Insertar circuito amplificador de audio	1	8		Poka-yoke
	26	Insertar filtro de audio	1	9		Autocontrol
	27	Conexionado de los módulos en el panel electrónico	1	60		Automático
<i>E: Lector</i>						
E1: Lector	28	Montar sistema emisor láser	1	28		Autocontrol
	29	Insertar sistema de lentes	1	19		Poka-yoke
	30	Ajustar cargador	1	12		Autocontrol
	31	Ajustar control automático de potencia	1	6		Autocontrol

### 2 - Encabezamiento y parte del listado de la opción del menú «Procesos y operaciones»

Junto a los procesos, aparece también su descomposición en subprocesos, para los casos que ello tenga interés, tal como el proceso C, descompuesto en los subprocesos C1, C2 y C3; puede ocurrir que para algunos procesos no existan tales subprocesos, en cuyo caso se introduce igualmente el proceso como subproceso, caso, por ejemplo, del proceso D que se introduce también como subproceso, identificado como D1. Los procesos y subprocesos ocupan las columnas de la izquierda del cuadro de datos de la figura. Cada proceso y cada subproceso está codificado de una determinada manera, a decidir por el usuario (en este caso, como ha sido ya mostrado en los casos de C y D, con una letra mayúscula los procesos, y una letra con un número de orden, los subprocesos).

Junto a estas dos columnas, se hallan las referidas a las operaciones que integran cada uno de los subprocesos, codificadas con un número de orden que la aplicación inserta automáticamente e, incluso, lo corrige si se añaden o eliminan operaciones.

A la derecha de las columnas que identifican y ordenan las operaciones, se encuentran tres columnas con los datos de las mismas:

- *Frecuencia* de la operación, es decir, cuántas veces debe realizarse para cada unidad del producto final, que se pretende obtener con el conjunto de procesos que se han introducido en la aplicación. Este valor puede ser uno, inferior a uno o superior a uno. Veamos qué supone cada caso:
  - 1: la operación hay que hacerla una sola vez por unidad de producto final. Por ejemplo, fijar el volante en la columna de dirección de un automóvil.
  - Mayor que 1: la operación hay que hacerla más de una vez por unidad de producto final. Por ejemplo, los procesos a efectuar con las ruedas de un automóvil, dado que cada uno de ellos tiene cuatro ruedas: frecuencia = 4.
  - Inferior a 1: la operación hay que hacerlas una sola vez para todo un conjunto de unidades de producto final. Por ejemplo, la fabricación del circuito electrónico impreso del panel de instrumentos del automóvil, que se fabrica automáticamente en paquetes —pongamos que de 50 unidades— cada vez que se carga y arranca la máquina. Frecuencia =  $1/50 = 0,02$ .

En el cuadro de datos de la figura 2, se observa que la mayoría de las operaciones tienen una frecuencia igual a uno. También se observa el caso de la fabricación automática, con una frecuencia igual a 0,02.

La frecuencia se utilizará para conocer el tiempo de trabajo y de máquina que se requerirá en cada operación para efectuar las tareas que correspondan a cada unidad de producto final (multiplicando la frecuencia por los tiempos reales de trabajo y máquina de cada operación).

- *Tiempo total de trabajo* de la operación, en las unidades de tiempo decididas.
- *Tiempo de máquina* de la operación, en las mismas unidades. El tiempo de máquina es el que precisan los procesos para realizar operaciones en las que el trabajador no ha de intervenir.
- Finalmente, hay una columna de *información*, relacionada con la forma de asegurarse de que la operación está bien efectuada y la calidad asegurada, algo muy importante que, en el caso de la operativa de acuerdo con el Lean Management, es indispensable lograrlo a la primera y, por tanto, como *calidad interna* (la alcanzada después de reparar o reprocesar errores, es la *calidad de servicio*).

## 2. Opción menú principal: DISEÑO PROCESOS. PRODUCTIVIDAD

Esta opción del menú presenta una pantalla en la que se diseñará el proceso y sus puestos de trabajo, a partir de los parámetros de diseño, como muestra la figura 3.

# DISEÑO DEL CONJUNTO DE PROCESOS

Producto: DVD player Modelo: Elmig-100  
 Procesos: Fabricación y montaje con sus conexiones

Tiempo: segundos /hora: 3.600

MENU  
 Diseño

MODELO DE GESTION:  
 Mass-push:  X  
 Lean-Pull:

Producción diaria planificada: 1.000  
 Lote producción (uds.): 200  
 ¿Preparación en parar? (SN): S

Duración jornada (h.): 16  
 Peros programados prm. (h.): 2,0  
 Duración meta (h.): 14,0

TAKT TIME  
 deseado: 50,4

SUMINISTROS EXTERIORES:  
 En stock:  Llegan durante el proceso: X  
 X nada en Stock Cada (horas): 0,20 Uds: 20  
 Inicio suministro (seg.): 100

OPERACIONES POR PUESTO										PUESTOS AGRUPADOS O MULTIMÁQUINA ***		TIEMPOS DE CICLO		CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DIARIA			
Nº	Denom	<< Instrucciones en cabecera de columna >>										Orden(3)	Nº Trabaj	Nº Máq.	Máquina	Producción	Producción
1	Al	1	2	3	7	8	9					1	6	4	37,0	64,8	1.000
2	As	4	5	6	10	11	12					1	1	4	50,4	1.000	1.000
3	B	13	14									2	3		50,4	1.000	1.000
4	Ca	15	16	21								3	1		50,4	1.000	1.000
5	Cb	17	18	19	20							4	2		50,4	1.000	1.000
6	Da	22	23	24	25	26						1	1				
7	Db	27										1	1				
8	E	28	29	30	31							2	2		50,4	1.000	1.000
9	Fa	32	33	34	35	36	37	38	39	40		2	2		50,4	1.000	1.000
10	Fb	41	42	43	44	45	46	47				6	2		50,4	1.000	1.000
11	G	48	49	50	51	52	53	54				7	4	2	50,4	41,5	1.000
12	H	55	56	57	58	59	60	61				7	1				
13	I	62										7	1				
14	L	63	64	65								8	1	1	50,4	47,7	1.000
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	

TAKT TIME (jornada base): 50,4  
 Nº de puestos teórico: 19,5  
 Nº de puestos real: 20

Totales >>>  
 731 157 365 11  
 888 376  
 % [NVA-Paro] / Total: 13,3

Total: Máximo: Total: Paro medio Ud.:  
 21 7 25 16,0 5  
 Lote promedio \* 8,6 Equivale a: 1,1 jornadas

Nº puestos: 8 Máx: 50,4Mts-64,8  
 Producción de producto acabado: 1.000  
 Nº trabajadores: Nº máq.: Máximo desequilibrio:  
 21 7 13,4 23,3  
 [ contribuyente ]

Productividad media (p.a.) / hora trabajada: 3,1

Producción diaria (producto acabado): 1.000

\*\*\* MÁXIMO Nº PUESTOS AGRUPADOS EN DIAG. OT: 15

\*\* Lote transferencial: De no especificarse, no se podrá agrupar el producto para su transporte: el tiempo de transporte no computará. Además, no habrá lote transf. entregado: el diagrama OT no aparecerá

\* PUESTO SIMPLE: Conjunto de tareas manuales y/o requeridas por una máquina (sólo una). Los puestos multimáquina se agrupan por agrupación posterior.

(1) Tiempo extra en puestos agrupados: el software opera con el menor de ellos (disponible, pues, en todas las tareas del puesto). Si algunas tareas superan este tiempo, sólo se generará stock dentro del puesto.

(2) NO introducir momento de inicio en un puesto a agrupar a continuación de otro que será el inicial

(3) Orden puestos agrupados: correlativo, sino, el diagrama OT no funciona

## 3 - Pantalla de la opción del menú «Diseño de procesos. Productividad»

Dicha pantalla está elaborada para el caso que ya se presentaba en la opción anterior del menú, con el proceso y sus operaciones, que se irá completando con las siguientes opciones del menú. Este caso es el que se terminará de desarrollar en las sucesivas opciones del menú y sus pantallas. Puede observarse que, como se dijo en la introducción al software, la pantalla de la figura 3 presenta, además del botón para volver al menú principal, otros dos, para centrar el cuadro en la zona de diseño del proceso y para volver al inicio de dicho cuadro.

En cuanto al contenido del cuadro de la pantalla se encuentra, ante todo, una cabecera en la que se identifica el producto, el modelo, así como el proceso o conjunto de procesos que se van a diseñar. Junto a ellos, la medida en que se calculan los tiempos. A la derecha, algo muy importante: determinar si va a operarse de acuerdo con el modelo de gestión tradicional o el Lean Management. Téngase en cuenta que este software operará de forma distinta en un caso u otro, automáticamente y la propia cabecera cambiará de un caso a otro (la representada en la figura es la correspondiente al Lean Management, que es la más completa). Para indicar el modelo a seguir, se mostrará una “X” en la casilla “Mass-push” o la “Lean-pull”, y la otra quedará sin señalar. Para cambiar de una opción a otra, hay un switch al lado que presionando la flecha superior o la inferior cambiará la opción: de “Mass-push” a “Lean-pull” o viceversa.

En la cabecera de la tabla, además hay que introducir la producción diaria planificada, el tamaño del lote de producción, la duración de la jornada, los tiempos de paro programado por jornada y, solo en el caso de operar en Lean, indicar si se van a parar los procesos para hacer las preparaciones (Toyota desarrolló las técnicas SMED para hacerlo).

El programa calcula el tiempo neto de trabajo por jornada (duración – paros).

Asimismo, en la cabecera de la tabla de la figura, se halla el cálculo del *takt time*, que fija el ritmo de producción correcto para el proceso (es el cociente entre el tiempo neto disponible y la producción a alcanzar), el cual habrá de adaptarse al tiempo de ciclo por unidad de producto, algo muy importante en los diseños Lean, como tendremos ocasión de exponer, a fin de ajustar la producción a la demanda.

Finalmente, en el extremo derecho del encabezamiento se hallan los datos de inicio de los suministros externos. Se puede elegir operar sin tenerlos en cuenta o bien con su intervención. La opción *En stock* es la que no los tiene en cuenta —lo que supone que siempre hay suficiente cantidad de tales suministros y la producción no ha de parar por falta de los mismos. Para operar de este modo, hay que introducir una “X” en la casilla *En stock*. De no operar así, borrar dicha “X”, si la hay: aparecerá la “X” en la casilla alternativa rotulada con *Llegan durante el proceso*, en referencia a que, en este caso, sí se depende de que haya suficientes aprovisionamientos. Esta opción viene acompañada con la recepción de los correspondientes aprovisionamientos, concretamente con:

- Frecuencia de recepción de los mismos en horas
- Cantidad recibida en cada entrega
- Momento de la primera entrega, en la unidad de tiempo elegida en la aplicación.

De este modo se introduce la influencia de la logística de los aprovisionamientos en el desarrollo de la producción.

Con estos datos de encabezamiento puede procederse a operar con el cuadro principal de esta opción del menú principal, justo debajo de la cabecera. El cuerpo de dicho cuadro contiene la información introducida por ser preexistente o por decisión del propio diseñador, así como los resultados del diseño realizado. Esto último es lo que se pretende obtener y, además, con la máxima eficiencia posible.

Ante todo, habremos de tener en cuenta que operaremos con tres tipos de datos, que se distinguirán por su color, cosa que se aplica, no sólo en esta opción del programa, sino a todo él. Son los que siguen:

- 1) **Información** (color: *azul*) acerca del sistema productivo, preexistente o impuesta, que debe introducirse en el diseño (por ejemplo, producción diaria a obtener, operaciones de los procesos y sus tiempos; etc.).
- 2) **Datos** (color: *marrón*) a introducir, que dependen del diseñador y que éste puede ir variando, con el fin de alcanzar la máxima eficiencia para el sistema resultante (por ejemplo, número de trabajadores y de máquinas en cada operación, tamaño de los lotes de transferencia entre operaciones, tiempo de trabajo por jornada y puesto, etc.).
- 3) **Resultados** (color: *negro*) de los cálculos con los dos tipos de datos anteriores, que darán lugar al diseño resultante provisional, junto a los valores correspondientes de las métricas de eficiencia del sistema (número de trabajadores y de máquinas final, composición de los puestos de trabajo, tiempos de ciclo de trabajadores y máquinas, productividad, etc.).

Veamos, con detalle y aplicado al caso que venimos utilizando, cómo construiremos, en dicho recuadro, los distintos puestos de trabajo del proceso o procesos con los que se opera, tratando de optimizar el diseño y obtener los resultados previstos.

El columnado que hay a la izquierda de la citada tabla, con la leyenda “PUESTOS SIMPLES”, permite introducir, uno a uno, los puestos de trabajo del conjunto de procesos de la planta, con su numeración en una columna inicial. A la derecha de esta se introducirán las denominaciones de los puestos de trabajo y, en las siguientes columnas, bajo la leyenda “OPERACIONES POR PUESTO”, los códigos numéricos de las operaciones que se asignen a cada uno (uno por columna). Tanto los nombres de los puestos como sus operaciones son susceptibles cambiar cuando sea preciso.

En el columnado que sigue, con la denominación “Puesto al que entrega el producto”, hay que introducir el puesto al que se entrega el producto, para cada uno de los puestos del proceso o procesos, lo que permite reproducir, en formato de tabla, el *diagrama de precedencias*, que será muy importante, no en vano viene a ser el diseño básico de la planta, a partir del cual, hemos de elaborar el diseño completo y detallado. En la siguiente columna aparece automáticamente —color negro— el número del puesto (el de la primera columna).

A continuación, se observa un columnado con el título “TIEMPOS DE PROCESO” con cuatro columnas, dos para los tiempos de trabajo (con valor añadido VA, una de ellas, y sin valor añadido NVA, la otra) y dos para los tiempos de máquina (una con los tiempos de proceso real y, en la otra, los paros por diversas razones). Se trata de tiempos de proceso para cada unidad de producto, es decir, tiempos de ciclo.

Los tiempos VA de trabajo y de proceso real de máquina, los determina el propio programa a partir de los datos de tiempos ya conocidos para ambos —los que figuran en la hoja de la opción «Operaciones / gama ficticia»— actividad por actividad, debidamente multiplicados por la frecuencia, a fin de que se refieran a una unidad de producto acabado, que es lo que interesa realmente y que, en su caso, es lo que habrá que balancear entre los distintos puestos. Los tiempos NVA de trabajo y de paro de máquina, se introducen directamente (es parte de la información que decíamos que aún falta), de acuerdo con la situación real existente o con las previsiones, si se trata de un diseño nuevo o, simplemente, para introducir coeficientes de seguridad en las capacidades reales.

Debajo de los tiempos de proceso, en la tabla hay una zona de totales, en la que se han sumado sus valores, a fin de conocer los tiempos totales de proceso de los cuatro tipos. Además, se ha obtenido el total de tiempo de proceso para los trabajadores (suma de los VA y de los NVA) y para la máquina (total proceso más total paros). También se ha obtenido el porcentaje de los tiempos sin valor añadido más los paros, respecto al total global de tiempos de proceso (que en el caso que nos ocupa es del 13,3%).

Al columnado de tiempos de proceso sigue otro de “TIEMPOS ADICIONALES POR”, con otras tres columnas. Se trata, efectivamente, de tiempos a añadir, por diversas causas y que no están incluidos entre los anteriores. De hecho, se tratan de tiempos que no aportan valor añadido alguno y que, por tanto, deberían ser lo más bajos posible. Son tres y todos ellos deben evaluarse —color azul—, bien sea por previsiones o por datos reales, si existen:

- Nivel de *defectos de calidad* en forma de rechazos no recuperables (siempre que los recuperables pasen por puestos de reprocesado que los resuelvan; de lo contrario se incluirán todos los defectos).
- *Transportes* de los lotes de transferencia entre operaciones, en la medida que ocupen tiempo de trabajo de los puestos que se están diseñando. El tiempo empleado por medios de transporte mecanizados o personas cuyos puestos no forman parte del diseño (por ejemplo, carretilleros), no debe incluirse. Los transportes son uno de los motivos por los cuales la gestión convencional trata de reunir el máximo volumen de material en cada lote de transferencia entre operaciones, de forma que el número de transportes sea lo menor posible.
- Tiempo de *preparación* o de *cambio de formato*, al comenzar nuevos lotes de producción, para disponer máquinas, herramientas, utillajes, materiales, etc., con el fin de producir el modelo de producto al que corresponde el lote de producción correspondiente. El tiempo de cambio de formato es uno de los motivos

por los que la gestión convencional trata de operar con lotes de producción que también sean grandes (así se hará un menor número de cambios).

Debajo de estas tres columnas, en la zona de totales, se halla la suma de cada uno de los tres tipos de tiempo; para los rechazos se ha calculado también la media, para conocer el nivel medio de fallos de calidad (0,5% en el caso de la figura). La suma de rechazos (0,06, es decir 6%) es el total de fallos que acumulará, en promedio, cada unidad de producto acabado. En cuanto a los tiempos de transporte y preparación, se ha calculado también la “repercusión” por unidad de producto: el transporte se repercute en el lote de transferencia (76 seg. /unidad); para el tiempo de preparación, en cambio, la repercusión es sobre el lote de producción (8,7 seg. /unidad).

### Parámetros de diseño del conjunto de procesos.

Hasta aquí los datos de todos los aspectos del sistema productivo que nos permiten determinar las magnitudes de la planta a diseñar —las de color azul, con algunos de color negro obtenidos por cálculo a partir de datos anteriores. La zona que sigue en el cuerpo principal de la opción del menú *Diseño procesos*, rotulada como “PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA”, se utilizará para introducir los valores de tales parámetros, como muestra la figura 4.

Producción diaria planificada: **1.000**  
 Lote producción (uds.): **200**  
 ¿Preparación sin parar? (S/N): **S**

Duración jornada (h.): **16**  
 Paros programados jorn. (h.): **2,0**  
 Duración neta (h.): **14,0**

**TAKT TIME**  
 deseado: **50,4**

**SUMINISTROS EXTERIORES:**  
 En stock:  Llegan durante el proceso:  Retorno inicio  
 Xo nada en Stock Cada (horas): **0,20** Uds: **20**  
 Inicio suministro (seg.): **100**

TIEMPOS ADICIONALES POR			PARÁMETROS DISEÑO SISTEMA					INICIACIÓN PROCESO		PUESTOS AGRUPADOS O MULTIMÁQUINA ***				CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DIARIA
Rechazos no recib.	Transporte operario	Tiempo preparación	Cantidad Trabajad.	Lote Máq.	Transfer. H extra (1)	Tiempo jornada seg	Inicio (1)	Momento inicio (2)	Orden(3)	Nº Trabaj.	Nº Máq.	Trabajo	Máquina	(unidades /puesto agrup.)
0,2%	25	190	3	3	25	4,00	>>	20	1	6	4	37,0	64,8	1.000
0,1%	35	220	1	1	25	4,00			2					
0,5%	11	90	2		10				3	3		50,4		1.000
0,3%	10	120	1		5				4	1		50,4		1.000
0,4%	25	120	2		10		50		5	2		50,4		1.000
0,1%	6	75	1		1	4,00			6					
0,1%	12	75	1		10	4,00			7	4	2	50,4	41,5	1.000
0,7%	15	120	1		10				7					
0,5%	5	150	2		1				7					
0,8%	25	150	2		10				7					
0,6%	25	90	2	1	1				7					
0,8%	10	90	1	1	1				7					
0,5%	12	120	1		1				8	1	1	50,4	47,7	1.000
1,0%	50	120	1	1	10									

entre del puesto.

Fallos /Ud.:	266	1.730
Media:	0,06	
Total/Ud.:	76	8,7
Media:	0,5%	

\*\* Lote transferencia: De no especificarse, no se podrá agrupar el producto para su transporte: el tiempo de transporte no computará. Además, no habrá lote transf. entregado: el diagrama OT no aparecerá

Total:	Total:	Máximo:	Total:	Paro medio /Ud.:
21	7	25	16,0	5
Lote promedio » 8,6		Equivale a: 1,1 jornadas		

\*\*\* MÁXIMO Nº PUESTOS AGRUPADOS EN DIAG. OT: 15

Nº puestos:	8	Máx: 50,4	Máx: 64,8
Nº trabajadores:	21	Nº máq.:	7
Máximo desequilibrio:		13,4	23,3

Producción de producto acabado: **1.000**  
[ condicionante ]

Producción diaria (producto acabado): **1.000**

Productividad media (p.a.) / hora trabajada: **3,1**

4 – Pantalla para entrar los parámetros de diseño de la opción «Diseño de procesos»

Ahí se lleva a cabo el diseño propiamente dicho y se efectúa rectificando cuando y como lo decida el diseñador, a fin de obtener los mejores resultados del mismo. Son los datos de color marrón, puesto que constituyen una información que el programa requiere que se introduzca, pero no procede de ninguna fuente, sino la que trata ensayar el diseñador de los procesos.

Estos parámetros, como puede observar el lector en la figura 4, deben introducirse para cada puesto de trabajo definido y son:

- Número de trabajadores
- Número de máquinas
- Tamaño del lote de transferencia a entregar desde el puesto actual al que le sigue, de acuerdo con el diagrama de precedencias, información que también se halla en la tabla, como se ha dicho.
- Tiempo extra de trabajo por jornada.
- Tiempo de paro lote, es decir el tiempo que pararemos cada vez que se termine un lote de transferencia, para ajustarse al ritmo del proceso y, con ello, equilibrarlo o balancearlo. La gestión Lean cuida mucho este aspecto, no así la gestión tradicional de producción en masa, que sacrifica el equilibrado en aras de la productividad... de cada puesto por separado.
- Finalmente, hay una columna para disponer, si es el caso, el momento más temprano en que cada proceso puede iniciar su operativa: se introducirá en los puestos en que tiene comienzo un proceso (son los que tienen a la izquierda el símbolo ">>"). En efecto, puede ocurrir que un proceso no esté disponible hasta un momento determinado, por lo que esta posibilidad se ha introducido también en el programa.

Los campos correspondientes al número de trabajadores y tamaño de lote, son los únicos que debemos rellenar necesariamente, ya que siempre existirán (todo puesto ha de tener, como mínimo, un trabajador, que se ocupa de él, aunque sea de vez en cuando y, además, envía un lote de producto semielaborado al siguiente puesto.

El columnado correspondiente a los parámetros de diseño del sistema tiene, en la zona de totales —en la parte inferior de la tabla— la cantidad total de trabajadores, la de máquinas, el tamaño máximo y medio de lote de transferencia, así como el total de horas extras y su equivalente en jornadas de trabajo. También muestra el total de tiempo de paro lote, repercutiéndolo sobre la unidad de producto.

El último columnado del cuerpo principal de la opción del menú que estamos desarrollando, tiene una primera parte bajo la leyenda "PUESTOS AGRUPADOS O MULTIMÁQUINA". En ella tenemos, ante todo, la posibilidad de agrupar puestos de trabajo en uno solo.

Efectivamente, hemos decidido los puestos de trabajo y qué tareas habían de realizar, nada más iniciar la tabla en cuestión (primeras columnas a la izquierda). Sin embargo, una vez incluidos todos los aspectos que influyen en el diseño y llegado al mejor resultado que nos ha sido posible, podemos replantearnos los puestos de trabajo y las tareas que los componen, agrupando los puestos, tal como están diseñados hasta el

momento. Por ejemplo, podemos preguntarnos qué pasaría si dos puestos con un solo trabajador, tuvieran un ciclo de trabajo demasiado bajo (por ejemplo, muy inferior al de la máquina): sobraría fuerza de trabajo. Podríamos plantearnos eliminar uno de los trabajadores de estos dos puestos y que el otro se hiciera cargo de ambos, agrupándolos en uno solo, siempre y cuando no hubiera otros impedimentos.

La pantalla de la opción del menú que está representada en la figura 3, que estamos comentando, se han hecho varias agrupaciones de puestos de trabajo. Efectivamente, en la columna en la que se confirma el número del puesto de trabajo ("Orden"), se han reenumerado todos los puestos. Al hacerlo, han resultado varios de los antiguos puestos, con el mismo número: son los puestos iniciales que ahora se han agrupado en uno solo, con un nuevo número. Así, por tanto, para agrupar algunos de los puestos iniciales en uno solo, hay que adjudicarles el mismo número. Como esto es una nueva decisión del diseñador, esta columna tiene el formato con el color de los parámetros de diseño.

Cada vez que se adjudica un nuevo número en la columna orden, en las columnas que siguen aparece la información correspondiente, pero no así en las líneas posteriores con el mismo número, puesto que se trataría de la misma información. Concretamente, en el columnado al que hacemos referencia, aparece el número de trabajadores y de máquinas del puesto agrupado.

Hay muchas situaciones que recomiendan agrupar puestos de trabajo en uno solo: así, los trabajadores de una célula flexible que operan en *Nagare*, deben aparecer agrupados, ya que todos hacen todas las tareas, ya que este es el verdadero sentido de la agrupación. En otros casos, la agrupación se plantea para mayor facilidad de organización de las tareas de un mismo proceso.

En la zona de totales del columnado de agrupación de puestos, en la parte inferior de la tabla, se encuentra el número de puestos del sistema diseñado, una vez agrupados (8 en el caso que nos ocupa), así como el total de trabajadores que operan en ellos (21) y el de máquinas (7).

### *Resultados del diseño realizado*

Continuando con el contenido de la pantalla de la figura 3 se muestra en el columnado que sigue al anterior, otro con la etiqueta "TIEMPOS DE CICLO". Tiene dos columnas, con el tiempo de ciclo por unidad, una para los operadores, la otra para las máquinas. Finalmente, bajo la etiqueta "Capacidad de producción diaria", se muestra la producción que puede alcanzar cada puesto cada día, tal como ahora están diseñados, es decir, agrupados.

Los tiempos de ciclo constituyen una información de gran importancia, puesto que es fundamental determinar los ciclos resultantes del diseño, además de si domina el ciclo de trabajador o el de máquina, ya que el más elevado será el que determine la capacidad de producción. En principio, dado que es importante que el trabajador no se halle parado, se dispondrá el número de trabajadores preciso para alcanzar la producción planificada y, en cuanto al número de máquinas, normalmente, se dispondrá del

número preciso para que su ciclo no supere al del trabajador (el cual, de lo contrario, habría de parar).

En la zona de totales de estos columnados, en la parte inferior de la tabla, encontramos los ciclos máximos de trabajo y de máquina y la diferencia entre el máximo y el mínimo (desequilibrio) para cada uno de ellos. Más a la derecha se muestra, finalmente, a producción diaria, a partir del valor de la producción de la operación condicionante (la de menor producción), ya que ésta es exactamente la cantidad de producto completo y acabado que puede obtenerse.

El **valor del tiempo de ciclo** de cada puesto, incluye todos los datos anteriores puesto que todos ellos deben ser elementos a tener en cuenta, reducidos a tiempo por unidad de producto, ya que el tiempo de ciclo se refiere siempre a cada unidad. Un aspecto especial puede influir en el tiempo de ciclo real: el tiempo de paro lote si lo hay. En efecto, aunque se haya concluido un lote de transferencia, si esperamos a entregarlo hasta que haya transcurrido este tiempo, su cuantía, una vez repercutida entre las unidades de producto de dicho lote, debe añadirse al tiempo de ciclo.

Por lo que hace referencia a la **producción diaria obtenida**, se determina a partir del ciclo dominante (trabajo o máquina, el mayor de ellos), como sigue: se parte del tiempo correspondiente a la jornada base neta (deducidos paros programados), al que se añade el tiempo extra y el resultado divide por el valor del tiempo de ciclo dominante.

Veamos ahora cómo utilizar la zona de la tabla dedicada al diseño (columnado de parámetros del sistema), para obtener los mejores resultados posibles para los tiempos de ciclo y producción diaria, tratando con ello de optimizar el sistema, con lo realizado hasta el momento (con el diagrama OT podremos extender el diseño a alcanzar la máxima eficiencia en todos los aspectos, a través de las métricas relevantes que faltan).

Ante todo, las decisiones adoptadas no es preciso ceñirlas exclusivamente a la zona de diseño de parámetros del sistema, ya que pueden tomarse también en la zona previa, donde se hallan los datos en caracteres azules. En efecto, en esta zona se encuentran datos introducidos asimismo por el usuario los cuales, aunque correspondan a valores concretos para determinadas magnitudes, ello no ha de ser obstáculo para que se fuerce su cambio, si conviene (tiempos sin valor añadido, porcentaje de defectos, tiempos de cambio de preparación, etc.). Así, mejorar estos parámetros siempre es preferible que disponer horas extraordinarias. Además, y sobre todo, han de poder cambiarse los datos de la cabecera de la pantalla de esta opción del menú (tamaño de lote, producción planificada, duración de la jornada, aprovisionamientos...).

Finalmente, en la parte inferior de la pantalla, se encuentra la producción total de producto acabado obtenida por día y también la **productividad por hora trabajada**, medida realmente interesante de la productividad, obtenida dividiendo la producción anterior por la cantidad total de horas (base y extras) realizada entre todos los puestos. Es una de las formas de medir la productividad, la cual que se emplea con gran frecuencia.

En la parte inferior izquierda de la pantalla, junto al *takt time*, se muestra el número de trabajadores teóricamente necesarios (que se acabarán redondeando al entero superior), algo muy importante también, en el diseño Lean, habida cuenta de que la

flexibilidad exigirá disponer de más o menos trabajadores y será preciso determinar cuántos se precisarán en cada caso. Como podemos imaginar, tanto el *takt time*, como el número de trabajadores que se precisan, solo aparecen en la aplicación si se ha seleccionado el modo de operar Lean.

### 3. Opción menú principal: GRAFICO DE CARGAS POR PUESTOS

Hasta aquí hemos realizado el diseño del sistema y obtenido los resultados del mismo, para los puestos de trabajo diseñados. Se han determinado las tareas a llevar a cabo en cada uno y obtenido sus tiempos de ciclo de trabajo y de máquina, así como la producción diaria y la productividad del sistema resultante. Sin embargo, quedan por conocer aún, aspectos y magnitudes clave del sistema diseñado, que nos permitirán validarlo o nos inducirán a revisarlo y mejorarlo en algún aspecto.

Así, la opción del menú principal del programa informático, denominada “GRAFICO CARGAS POR PUESTOS DE TRABAJO”, ejecuta un programa, en el cual se analiza la carga de cada puesto de trabajo y la composición de la misma, por tipos de tarea. La figura 5, muestra la pantalla correspondiente a esta opción el menú principal para el caso que venimos utilizando, con una tabla con la citada información y visualización de la misma, en un gráfico. Además, a la izquierda podemos apreciar el menú que permite centrarse en la tabla o en el gráfico (posición esta, que muestra la figura 6) y, llegado el caso, volver al menú principal.

En efecto, el conjunto de datos de dichas cargas se halla en una tabla situada a la izquierda, con la composición del tiempo de ciclo de cada puesto agrupado. A continuación, se halla un gráfico de barras superpuestas construido a la derecha de la citada tabla, el cual muestra los valores de las fracciones de tiempo VA, NVA, rechazos, transporte, preparaciones y otros paros detallados en las cabeceras de columnas. Este gráfico se genera automáticamente; el usuario tan solo debe analizar los resultados que aparecen a la vista y actuar en consecuencia.

Estos resultados muestran dos cosas que en la operativa tradicional se les da un escaso valor, pero que, de operar en modo *Lean-Pull*, son extremadamente importantes:

- Parte del tiempo de ciclo de cada puesto, que suponen las tareas con valor añadido (VA) realizadas en él —la parte de la barra destacada en verde— así como la composición del resto de tareas, que no aportan valor, con el resto de colores.

En la figura 5 pueden observarse, en efecto, las barras del gráfico de todos los puestos tienen una franja de color verde, más o menos prolongada —la zona de valor añadido— junto al resto de dichas barras con diversos colores, que corresponden a conceptos varios de no valor añadido, identificados en la leyenda inferior (NVA, Rechazos, transportes, preparaciones y otros paros).

## BALANCEO Y GRÁFICO DE CARGAS

Producto: DVD player Modelo: Elimag-100  
 Procesos: Fabricación y montaje con sus conexiones

MODELO DE GESTIÓN:  
 Lean – Pull  
 Tiempo: segundos  
 segundos/hora: 3.600

Producción planificada: 1.000 Uds. / día

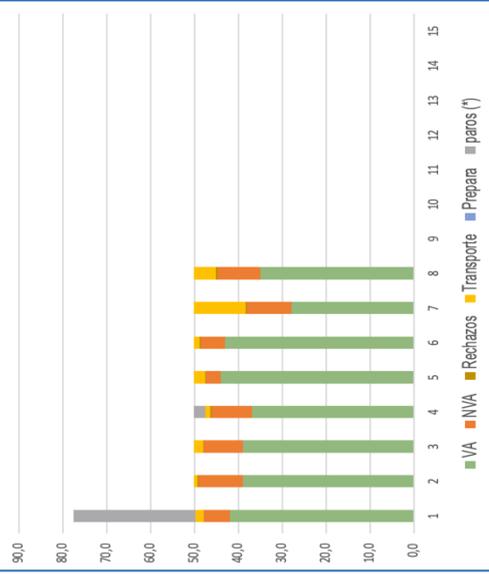
Puestos agrup.	Nº de trabaj. met.	P. agrupado y procesos asociados	Componentes del TIEMPO DE CICLO por puestos agrupados						Total TIEMPO CICLO
			Tiempo actividad		Waste en		Paros		
			VA	NVA	Rechazos	Transporte	Prepara		
1	6	A/As Da Db	42,0	5,8	0,1	1,9			78,0
2	3	BE	39,0	10,0	0,3	0,9			50,4
3	1	Ca	39,0	9,0	0,1	2,0			50,4
4	2	Cb	37,0	9,2	0,2	1,3		2,5	50,4
5	2	Fa	44,0	3,5	0,2	2,5			50,4
6	2	Fb	43,0	5,5	0,4	1,3			50,4
7	4	GH11	27,9	10,3	0,3	11,8			50,4
8	1	I2	35,0	9,7	0,4	5,0			50,4

(\*) Paros lote y también esperas debidas a exceso de ciclo máquina sobre ciclo de trabajo

Seleccionar opción:

- Datos tiempo ciclo
- Gráfico de balanceo
- MENU PRINCIPAL

TIEMPOS DE CICLO POR PUESTOS AGRUPADOS



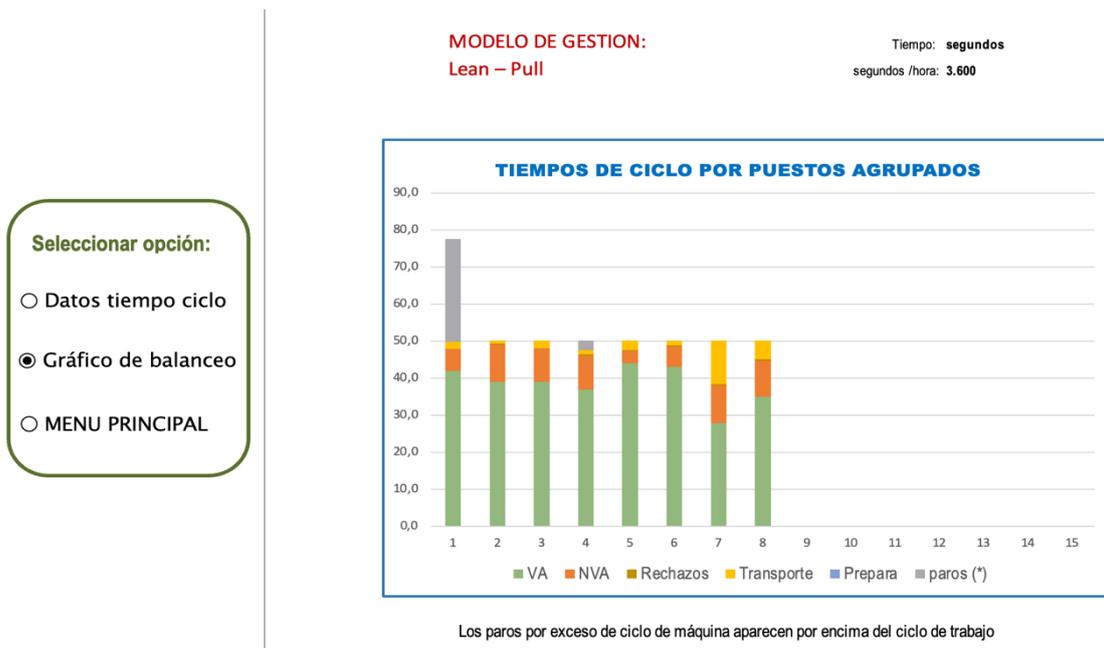
Los paros por exceso de ciclo de máquina aparecen por encima del ciclo de trabajo

5 - Elementos que componen la opción del menú principal «Gráfico cargas por puestos»

- Nivel de equilibrado (o balanceado) entre los puestos finalmente diseñados, tal como se han obtenido y agrupado en la opción del menú anterior.

En el mismo gráfico, se observa que las barras del gráfico para todos los puestos de trabajo tienen la misma altura, excepto la primera. Esta altura común para casi todas las barras, indica que estos puestos están balanceados, es decir, que tienen el mismo tiempo de ciclo el cual, recordemos que es el mayor entre el del operador y el de la máquina. Este tiempo, además, ha de corresponder al *takt time*, como muy bien indica la figura con una línea de puntos.

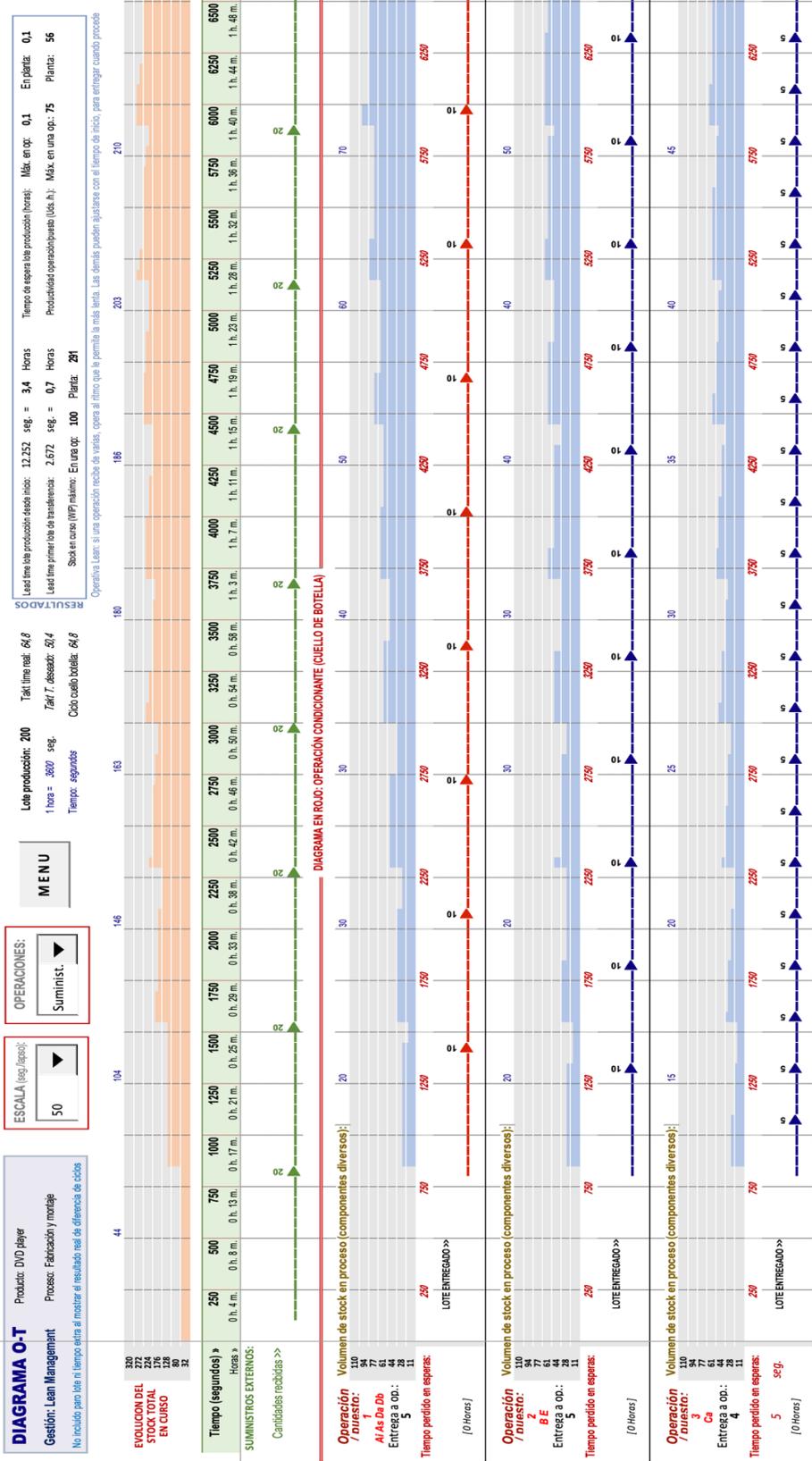
La excepción del puesto uno — en el caso que nos ocupa— se debe a que el ciclo de máquina es muy lento, pese a que se han dispuesto tres máquinas operando simultáneamente, como se observa con claridad en la figura 2, en los parámetros del diseño del sistema, dando lugar a un tiempo de ciclo de máquina de 64,8 segundos. Para que este puesto no sea un cuello de botella, se le hace trabajar 4 horas extras, aunque el operador ha de para, dado que su tiempo de ciclo es tan solo de 37 segundos. Este paro se observa muy bien en la figura 3, en la que el exceso de longitud de la barra del puesto 1, es de color gris (paro).



6 – Pantalla de la opción «Gráfico de cargas por puestos» que muestra dicho gráfico

#### 4. Opción menú principal: DIAGRAMA OT. LEAD TIME Y STOCKS

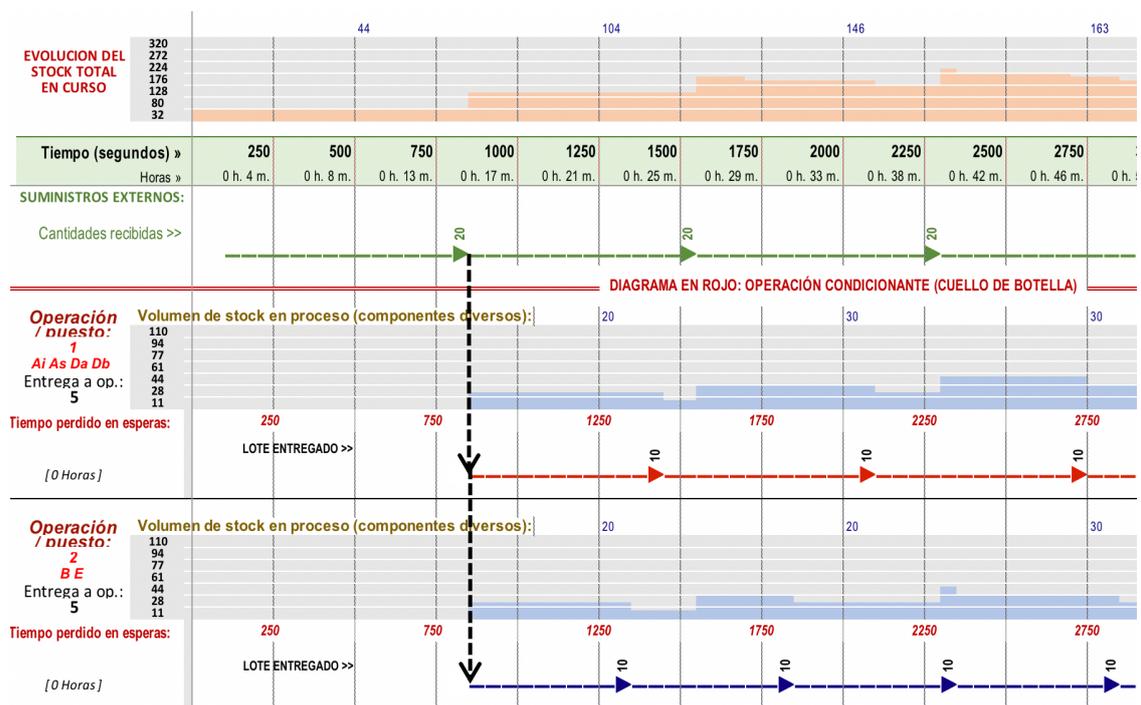
A continuación, y en la opción siguiente del menú, el usuario de la aplicación encontrará el *diagrama OT* que muestra la figura 7, para el caso-ejemplo que venimos utilizando en todas las opciones del menú principal, aunque, por razones de espacio no muestra las operaciones hasta que terminan.



7 – Pantalla de la opción «Diagrama OT. Lead time y stocks» que muestra el diagrama OT completo

El *diagrama OT*, denominación que se refiere a que visualiza la evolución de las *operaciones* con el *tiempo*, se utiliza para desarrollar y aplicar conceptos relacionados con el diseño de procesos eficientes, y está concebido para **representar, medir y simular el desarrollo de sistemas productivos completos**, integrados por procesos secuenciales y/o convergentes y determinar los valores de sus parámetros clave, tanto para su comportamiento global, como para el de cada operación y de cada uno de los procesos que lo integran. Dicha integración de procesos se relaciona con el uso del diagrama OT como herramienta de diseño de alto nivel, obteniendo diseños de procesos y plantas de producción integradas por procesos interconectados, sea cual sea su nivel de complejidad, además de un seguimiento muy completo de los niveles de stock, operación a operación, y para toda la planta y, efectuado momento a momento, permitiendo conocer los valores máximos y los promedios, ya que tales niveles se hallan relacionados con los niveles de eficiencia de todo el sistema.

La figura 8 muestra una parte del diagrama (para una mejor visualización), en la que se ha añadido una guía vertical negra de las flechas horizontales que indican los tiempos ocupados en la producción de cada actividad (en verde los de recepción de suministros y en azul oscuro los de cada operación del proceso —en rojo si es cuello de botella).



8 - Aspecto parcial del «Diagrama OT»

Además, al igual que en toda la aplicación informática, se visualizará la versión adecuada del diagrama OT cuando se opere con sistemas *lean manufacturing*, operando pues en modo *pull* (en lugar de *push*), con supermercados con stock en proceso que podrá ser controlado, con preparaciones *al primer toque* y un seguimiento especial del *waste*, en sus diversas manifestaciones.

Por otra parte, la determinación de las magnitudes clave de un sistema productivo, puede llegar a ser muy compleja, cuando las diferentes operaciones tienen distintos tiempos de ciclo, envían el material en tamaños variables de lotes de transferencia, algunas operaciones disponen de varios puestos iguales en paralelo y, todo ello, aplicado al conjunto de procesos de una planta, que pueden estar en secuencia o bien converger (con la exigencia de esperarse unos a otros), además de otros aspectos específicos, como depender de suministros exteriores o necesidades de espera para iniciar la operativa en algunas operaciones. Aún en los casos más complejos, en los que el cálculo puede hacerse extremadamente farragoso, el diagrama OT evalúa las citadas magnitudes, sin complejidad, de forma gráfica, clara y visual y haciendo un seguimiento temporal de tales magnitudes, pudiendo utilizarse, además, y a todos los efectos, como un simulador, que permita mejorar al máximo la eficiencia del sistema productivo (ensayando distintos valores de los parámetros del sistema).

La capacidad del diagrama OT para la evaluación de las magnitudes clave, incluso en las situaciones más complejas y la posibilidad de utilizarlo como simulador, le faculta para seguir la evolución de las magnitudes clave y ensayar nuevas situaciones, y cubrir así todos sus objetivos de forma transparente, visual y exenta de complejidad, pero aplicable con gran eficacia a los sistemas más complejos.

En el diagrama OT se observa, ante todo, una cabecera con datos del proceso, el tipo de gestión implementada (en Masa o Lean) y la escala a la que quiere visualizarse el diagrama, algo muy importante debido a su gran dimensión, que puede cambiar mucho de un caso a otro. A su derecha y junto al tamaño del lote de producción, se muestra el total de operaciones y el tiempo de ciclo dominante (el cuello de botella) y, a continuación, una serie de recuadros con los valores totales de magnitudes de interés para lograr la máxima eficiencia: *Lead time* del lote de producción completo y del primer lote de transferencia (cuándo comenzará a haber producto acabado), stock en curso (WIP), el global de los tiempos de espera y la productividad de cada operación o puesto de trabajo; stocks, esperas y productividad, a nivel de la operación que tenga el máximo valor y a nivel de toda la planta representada en el diagrama.

Debajo de esta cabecera se halla representada la evolución del stock total en toda la planta, momento a momento, hasta terminar todo el tiempo en el que se halla representado el diagrama (que depende de la escala elegida, por supuesto). Este stock se representa mediante un gráfico de barras cuya altura, en cada momento, mide el stock total, en una escala situada a la izquierda. El tiempo transcurrido está representado justo debajo de la evolución del stock, en la unidad elegida para todo el programa informático y en horas, todo ello de acuerdo con la escala elegida. Para mayor comodidad, los valores de esta escala se repiten sobre líneas verticales regulares a lo largo de todo el diagrama y hasta el puesto que se halla en la parte más baja del mismo, de manera que, en cada puesto, se conoce en qué momento del tiempo ocurren las cosas, sin necesidad de mirar en la parte alta, donde se halla la escala de tiempos.

La primera magnitud representada, justo debajo de la escala, es la correspondiente a los suministros externos, siempre que se haya decidido su intervención (recuérdese

que puede no tenerse en consideración). A partir del momento en que comiencen a enviarse, se representa cada suministro con una flecha de color verde, cuya longitud en la escala de tiempos marca cada cuanto tiempo se entrega cada lote a suministrar. En la punta de la flecha —momento en que se hace efectiva la entrega— se halla escrita la cantidad suministrada. Hasta que no llegue la primera de dichas entregas, no podrá comenzar a operarse en ninguna operación o puesto de la planta.

A continuación, comienza el diagrama con la evolución de la producción entregada por cada puesto de trabajo finalmente diseñado. Los datos de cada puesto, se hallan en la parte izquierda del diagrama: identificación del número de orden del puesto, operaciones que realiza (que integran la denominación del puesto), a quien entrega el producto y una información adicional con el tiempo total perdido en esperas en el puesto. Por supuesto que el puesto opera de acuerdo con los datos del diseño efectuado en la opción del menú DISEÑO PROCESOS (tiempo de ciclo, tamaño del lote de transferencia, tiempo de espera para iniciar, etc.).

A la derecha de esta información, se halla el diagrama propiamente dicho, puesto a puesto. Concretamente, consta de flechas como en el caso de los suministros, cuya longitud ha de ser el tiempo de producción de cada lote de transferencia (el que se transfiere de un puesto a otro), medido en la escala de tiempos; la punta de la flecha debe coincidir con el momento en que se entrega, medido en dicha escala, incluyendo un número con la cantidad entregada con el lote. Las flechas son usualmente de color azul, pero en el caso de la operación o puesto cuello de botella, haya uno o varios, se representa en rojo, para que pueda identificarse fácilmente. Encima de tales flechas queda representada la evolución del stock en curso de la operación, mediante un gráfico de barras cuya altura mide el stock total en una escala situada a la izquierda (igual que se hizo con el gráfico del stock total en la planta, en la parte superior de esta pantalla).

En el diagrama OT, cada operación tiene lugar cuando recibe el material del puesto que ha de suministrárselo, iniciándose este proceso desde los suministros exteriores, siempre que se contemple su intervención. Así, en la figura 8, dichos suministros envían un lote poco después de los 750 segundos (13 minutos). Este lote lo reciben los puestos que efectúan las operaciones iniciales de los procesos involucrados en el diagrama (en la figura, se han añadido sendas flechas verticales que ayudan a visualizarlo); dichos puestos, en el caso de la figura, son el puesto 1 y el 2. Éstos, a su vez, procesan tales lotes y los entregan a los puestos que efectúan las operaciones que han de recibirlos y así sucesivamente.

Esta operativa obedece, sin duda, al modo de operar que hemos denominado *Push*, propio de la gestión tradicional en masa. Sin embargo, como ya se ha dicho, este programa informático está preparado para operar en modo *Push* y, también en modo *Pull*, siempre que se elija el modelo de gestión *Lean-Pull*. Así pues, de elegirse este último modelo, el diagrama OT no podrá funcionar del modo que hemos descrito, sino pendiente de lo que precisa el puesto siguiente (su demanda), en lugar de lo que pueda recibir del anterior. Para ello, operando en modo *Lean-Pull* debe introducirse el *takt time* que responda a la demanda, cosa que se hará en la opción del menú DISEÑO PROCESOS,

en el recuadro que aparecerá en la parte superior de la pantalla, con la leyenda “TAKT TIME deseado:”. Dicho valor aparecerá asimismo en la pantalla la opción del menú DIAGRAMA OT en la parte superior. En tal caso, el diagrama se ordenará automáticamente para responder al ritmo de este *takt time*, comenzando por el último puesto (como es preceptivo, ya que es el que entrega a la demanda externa), transmitiendo dicho ritmo aguas arriba, a los puestos anteriores.

Así pues, dado que los sistemas *Lean Manufacturing* operan de forma muy distinta a los sistemas convencionales, el programa informático completo y, en particular, el diagrama OT —que, en la figura 7 se muestra más completo, aunque menos detallado— está preparado para operar en modo *Lean-Pull*, pues en este caso esta es la opción elegida. Muy especialmente, ello es así en relación con las siguientes características:

- Posibilidad de operar en modo **pull** o en modo **push** según corresponda.
- **Flujo** —determinante en los sistemas *lean*— claramente visualizado (por la concepción del diagrama)
- El **stock** o **existencias** en proceso —que operando en Lean adoptará la forma de *supermercados*— está determinado en cada momento y controlada su evolución con el gráfico de barras de color azul que acompaña a cada puesto de trabajo. Su nivel, además, está medido de forma regular y a lo largo del propio gráfico de barras (en números encima de dicho gráfico, cada tres líneas de división de la escala de tiempos). El máximo volumen de existencias se visualiza en el propio gráfico de barras de evolución del stock (su punto más elevado) y puede medirse mirando la medida numérica que corresponda. Lo mismo ocurre con el stock total del conjunto de procesos representados, visualizado con su gráfico de barras (en este caso de color marrón) ubicado encima del diagrama OT, según se dijo, el cual viene también acompañado, con cantidades numéricas regularmente distribuidas. Todo ello, gracias a la concepción del diagrama OT y la importancia que se ha dado, en él, al volumen de los stocks.
- Tamaño del **lote de transferencia** ajustable a voluntad, para su mejor acomodo al nivel máximo de stock en supermercados
- Entrega del producto final de acuerdo con el **takt time**, ritmo que transmitirá a las operaciones anteriores por medio de la operativa *pull* y los supermercados.
- Gran facilidad para realizar diseños con los **puestos de trabajo balanceados**, agrupando operaciones en puestos y varios puestos entre sí, así como ajustando los parámetros de diseño, todo ello en la opción del menú DISEÑO PROCESOS.
- Control exhaustivo sobre el **waste** (especialmente del stock y tiempos de espera de puestos de trabajo y materiales, así como de los transportes).
- Posibilidad de incorporar otras características en el diagrama o en los datos de partida (por ejemplo, **preparaciones** “al primer toque”, sin paro del proceso).

En definitiva, el diagrama permite obtener un conjunto realmente importante de magnitudes del sistema productivo, además de visualizar cómo se desenvuelve éste,

puesto a puesto y momento a momento, lo que permitirá “jugar” con él hasta optimizar aquellos aspectos que se crea necesario, utilizándolo como un simulador.

Entre las magnitudes clave del sistema a optimizar con la simulación, destacaremos el *lead time* (para ajustarlo a la demanda), el stock, su máximo y su fluctuación (en cada puesto y en el conjunto de la planta, según ha sido expuesto), el tiempo perdido en esperas en los distintos puestos (evaluado en cada uno de ellos) y nuevas medidas de productividad. Estas magnitudes y, sobre todo, su evolución, son realmente complejas de determinar y, sin embargo, el diagrama OT puede hacerlo con facilidad y sin cálculo alguno, así como seguir su evolución, como ya aprendimos.

Vamos a ocuparnos ahora de las magnitudes de interés que puede aportar el diagrama OT, más allá de las ya obtenidas en el diseño realizado. Ante todo, el propio diagrama permite conocer el *lead time* total del conjunto de procesos de la planta para el lote de producción establecido, sin más que observar, en la escala de tiempos, el momento en que se entrega el último lote de transferencia, en el último puesto de trabajo. Este momento es el que mide el *lead time* total del conjunto de procesos, momento que el software calcula con precisión, según puede apreciarse. También se puede medir el *lead time* hasta la entrega del primer lote por parte del último proceso que, en este caso, queda dentro de lo que muestra en la figura 7: 2.750 segundos o 46 minutos. En este momento, ya tendremos producto acabado.

También podríamos obtener valores relacionados con la productividad del sistema o de cada puesto, analizando las entregas de los mismos sobre la escala de tiempos (por ejemplo, cantidades entregadas en un lapso de una hora).

## 5. Opción del menú principal: METRICAS RESULTATES GLOBALES Y POR PUESTOS. DESPERDICIOS.

La opción del menú etiquetada de esta manera reúne los valores de las métricas clave del diseño del sistema productivo resultante, tanto por lo que se refiere a aspectos concretos a optimizar, de los que pueden deducirse diversos tipos de desperdicio, como en lo referente a parámetros de eficiencia global del sistema. Esta pantalla ofrece, además, la posibilidad de comparar los resultados obtenidos con los de otros diseños. La figura 9, muestra la pantalla correspondiente a esta opción.

En efecto, de entre las magnitudes específicas de las que puede deducirse la presencia de desperdicios, observamos las siguientes:

- Tamaño del lote de producción (del que depende que haya sobreproducción
- Tiempo total de proceso a cargo de los operadores, que incluye el dedicado a actividades sin valor añadido (desperdicios diversos).
- Tiempo total de proceso a de las máquinas, que incluye el que se hallan detenidas, sin que ello esté programado. (desperdicios diversos).
- Stock medio y máximo a nivel de puestos y de toda la planta (todos ellos, desperdicios).

## MÉTRICAS RESULTANTES DEL DISEÑO

Uds. tiempo: segundos  
Cantidad /hora: 3.600

Producto: DVD player  
Modelo: Elimag - 100

Procesos: Fabricación y montaje con sus conexiones  
Sist. gestión: Lean M.

## COMPARACIÓN CON LOS VALORES DE OTROS DISEÑOS (ENTRAR DATOS)

Diseño: **Mass production**      **Otro**

MÉTRICAS RELEVANTES	VALORES diseño actual
Tamaño del lote de producción	200
Proceso: tiempo total de trabajo del proceso (VA+NVA)	888
Proceso: tiempo total de máquina (Proceso + Paros)	376
Stock medio de materiales en proceso en toda la planta (WIP)	163
Stock máximo en proceso (WIP) en un momento dado	291
Stock máximo en una operación (WIP) en un momento dado	100
Esperas: Total tiempos de espera en puestos de trabajo (horas)	0,1
Esperas: Paro por preparaciones (segundos / unidad producto)	9
Movimientos personal por envío lotes (segundos / unidad producto)	76
Rechazos por calidad no recuperables (promedio)	0,5%
Ocupación de espacio en planta	
<b>E F I C I E N C I A :</b>	
Número de puestos de trabajo (finales, tras la agrupación)	8
Número de trabajadores	21
Tiempo de trabajo extra por jornada (horas totales entre todas las operaciones)	16,0
Capacidad de producción / jornada	1.000
Productividad: media de producto acabado por hora trabajada	3,1
Lead time total lote de producción (horas desde momento cero)	3,4
Lead time total del primer lote de transferencia (horas desde momento cero)	0,7

### Seleccionar opción:

- Resultado global. Comparación 1ª.
- Comparación 2ª.
- Stock máximo supermercados
- Métricas de operaciones

- Resultado global. Comparación 1ª.
- MENU PRINCIPAL

VALORES (Introducir)	Variación diseño realizado en relación al comparado	VALORES (Introducir)	Variación diseño realizado en relación al comparado
Diferencia: % diferencia:	% diferencia:	Diferencia: % diferencia:	% diferencia:
2.000	-1.800	2.000	-90%
1.087	-200	1.087	-18%
495	-119	495	-24%
3.185	-3.022	3.185	-95%
7.019	-6.728	7.019	-96%
3.052	-2.952	3.052	-97%
9,0	-8,9	9,0	-99%
7,4	1,3	7,4	17%
75,9	0,3	75,9	0%
3,8%	-3,3%	3,8%	-88%
<b>E F I C I E N C I A :</b>			
15	-7	15	-47%
28	-7	28	-25%
38	-22,3	38	-58%
1.047	-47	1.047	-5%
2,3	0,8	2,3	36%
60	-56,9	60	-94%
21	-20,5	21	-97%

### MÉTRICAS RELEVANTES DE LAS OPERACIONES / PUESTOS DE TRABAJO:

Valores desde inicio real de la operativa hasta el final de la misma.

Ref. operación / puesto	T. Ciclo real (segundos)	T. Ciclo condic. (segundos)	Productividad (unidades / hora)	Lead time lote prod. (horas)	Lead time lote hf. (minutos si ciclo cont.)
1 - Ai As Da Db	64,8	50,4	56	3,6	10,8
2 - B E	50,4	50,4	71	2,8	8,4
3 - Ca	50,4	50,4	71	2,8	4,2
4 - Cb	47,9	50,4	75	2,8	8,4
5 - Fa	50,4	50,4	71	2,8	0,8
6 - Fb	50,4	50,4	71	2,8	8,4
7 - GH11	50,4	50,4	71	2,8	0,8
8 - I2	50,4	50,4	71	2,8	8,4

Stock medio (unidades)	Tiempo esperas (segundos)	Tamaño lote (unidades)
55		10
41		10
38	5	5
7	254	10
36	1	1
6	5	10
5	8	1
6	4	10

### MÁXIMO STOCK EN LOS SUPERMERCADOS:

Smk operación (referencia op.)	Cantidad (unidades)
1 - Ai As Da Db	100
2 - B E	80
3 - Ca	75
4 - Cb	10
5 - Fa	74
6 - Fb	10
7 - GH11	10
8 - I2	10

9 – Pantalla de la opción «Resultados globales y por puestos. Desperdicios» con el menú de opciones propias a la izquierda en posición «Resultado global. Comparación 1ª»

- Esperas en los puestos de trabajo, derivadas de los desequilibrios de la implantación efectuada (todas ellas desperdicios).
- Esperas derivadas de los tiempos de preparación (también actividades que no aportan valor alguno).
- Movimientos del personal a cargo de las operaciones, en particular los efectuados para poder transportar los lotes al puesto que sigue (más desperdicio).
- Rechazos de calidad no recuperables (si así se han tenido en cuenta al diseñar el conjunto de procesos: desperdicio total).
- También hemos previsto una casilla para medir el desperdicio en espacio ocupado que, al operar en Lean es normal que se reduzca. En el caso de la figura, no se ha utilizado.

Por lo que hace referencia a las medidas de eficiencia global, puede apreciarse que se han evaluado las siguientes:

- Número de puestos de trabajo y de operadores en ellos. En el entorno *Lean-Pull* deberían coincidir con los evaluados por el sistema (en el caso que aparece desarrollado en las distintas opciones del menú, se aprecia que hay uno más: 21 frente a 20 realmente necesarios).
- Tiempo de trabajo extra que ha sido necesario efectuar.
- Capacidad de producción por jornada.
- Productividad media por hora trabajada.
- *Lead Time* total para terminar el lote de producción completo.
- *Lead time* para entregar el primer lote de transferencia, ya acabado.

Todo ello lo suministra el programa sin que el usuario tenga que hacer nada. Lo que si puede hacer, en la medida que interese, es importar estos mismos datos de otro diseño efectuado, pegándolos en un columnado que hay a la derecha, bajo la etiqueta "COMPARACIÓN CON OTROS DISEÑOS". Allí puede identificar el diseño a comparar escribiendo su denominación donde se pide el nombre del diseño y luego introducir los valores correspondientes, debajo. El programa evaluará, en sendas columnas a la derecha, las diferencias con los resultados obtenidos en el diseño actual y sus valores en porcentaje. El programa tiene reservados columnados para dos comparaciones con otros diseños.

Los valores obtenidos en la tabla de resultados pueden aconsejarnos replanteamientos del sistema diseñado en algún o algunos aspectos, pero con la comparación con otros diseños podremos establecer conclusiones acerca del interés de efectuar determinados cambios.

El usuario, pues, dispone de los parámetros más relevantes del diseño efectuado, de forma que, si lo cree conveniente, puede modificar lo que considere oportuno, tanto en el cuadro con el diseño inicial, como en el diagrama OT, para luego observar si ha mejorado en algún aspecto el nuevo diseño. En resumen, podemos ir utilizando todas las posibilidades del programa informático, para mejorar el diseño en aquellos aspectos que el cuadro de resultados final nos indique que ello es posible —lead time, productividad, stocks, tiempos de espera, equilibrado entre puestos, etc.— y, dadas las posibilidades



programa (en el módulo de diseño), constituyendo pues un aspecto con el que puede hacer pruebas para mejorar el diseño del conjunto de procesos.

Los valores de este cuadro son muy importantes, ya que facilitan información para decidir en qué puesto o puestos de trabajo actuar.

Finalmente, en esta misma opción del menú dedicada a las métricas resultantes, se halla un último cuadro que hace referencia al stock máximo en proceso en todos y cada uno de los puestos de trabajo. El stock es un aspecto que ya ha aparecido reflejado en esta opción del menú, pero que tiene una importancia crucial para la implantación de tipo Lean y el establecimiento de supermercados para alojar el stock que se haya decidido que precisan los puestos y las operaciones que realizan.

Precisamente por este motivo, este cuadro solo aparece cuando se opera en modo *Lean-Pull* y con la etiqueta “Máximo stock en los supermercados”.

En ella hay dos columnas, una para cada puesto de trabajo y, por tanto, su supermercado previo con todo lo que puede precisar para desarrollar su actividad productiva; la otra columna muestra la cantidad máxima de ítems que llegará a haber en dicho supermercado, con el diseño realizado y, por tanto, los parámetros de todo tipo que se han introducido a lo largo de todo el programa.

Dado que el cuadro presenta el stock máximo resultante para los distintos puestos de trabajo, podemos decidir si estas cantidades son correctas, uno a uno, y con ello disponer en los procesos los correspondientes supermercados con una capacidad suficiente (con un coeficiente de seguridad, si se considera oportuno). En caso contrario habrá que cambiar los parámetros del conjunto del diseño hasta reducir el stock máximo a la cantidad que se considere correcta.

## 6. Opción del menú principal: INSTRUCCIONES RESUMIDAS

El programa informático de diseño de procesos y métricas resultantes tiene un último apartado en el menú principal con una guía rápida con las instrucciones básicas de funcionamiento del mismo, para las opciones del menú principal de que se compone, las mismas que han sido desarrollados exhaustivamente en las páginas anteriores de este manual.

A continuación, en la figura 11 se ha reproducido esta guía rápida, para mayor comodidad del usuario que utiliza este manual. En ella, aparece, un vez más, el botón para volver al menú principal.

---

## DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y DIAGRAMA O-T

### Instrucciones para la utilización de la aplicación

---

#### Aplicación compuesta de las pantallas que siguen (en las distintas pestañas):

M E N U

► **OPERACIONES:** para introducir los datos de las operaciones.

En la cabecera introducir: — Denominación de producto, modelo y procesos  
— Unidades de tiempo de trabajo y su conversión en horas

Se introducirán, a partir de la columna con la numeración de la operaciones del sistema, las descripciones de las mismas y sus frecuencias, junto a los tiempos de persona y máquina para cada modelo de producto (hasta tres modelos).

La columna de numeración de las operaciones está precedida de otras dos para introducir la descripción de los procesos a diseñar (y subprocesos si procede). Una última columna servirá para introducir los sistemas de control de la calidad.

► **DISEÑO PROCESOS:** en ella se llevará a cabo el diseño del sistema, con distintos enfoques (que podrán compararse). *Paulas para esta hoja:*

En cabecera: introducir el modelo de gestión adoptado y para el modelo lean management, el takt time (si procede)

Asimismo, se introducirán los datos del lote de producción, la producción diaria a asegurar y los tiempos disponibles teórico y real.

También se introducirán todos los datos relacionados con los suministros externos

En los recuadros que siguen: ► En filas: operaciones de cada estación de trabajo básica (que luego formará parte de un puesto)

► En las columnas de cada recuadro: se introducirán datos en las encabezadas con el título:

Datos a introducir en cada columna:

- **Procesos y operaciones** (con los datos de los mismos)
- **Tiempos de proceso** (solo la columna NVA y paro n.p. máquinas)
- **Tiempos adicionales por:** rechazos / transportes / preparaciones
- **Parámetros de diseño del sistema** (donde se ensayan los valores que optimizan el sistema)
- **Momento de inicio** posible de cada operación
- **Agrupación puestos y ciclos:** para agrupar operaciones en puestos que puedan así balancearse

► **GRAFICO CARGAS PUESTOS:** visualiza el gráfico de composición del tiempo de ciclo de cada puesto y su nivel de equilibrado.

► **DIAGRAMA OT:** el programa muestra automáticamente el DIAGRAMA O-T del diseño realizado. Para visualizarlo mejor, ajustar la escala de tiempos.

En cada operación, el diagrama viene acompañado por una visualización del nivel de stocks para cada momento.

En la cabecera, el diagrama muestra datos generales y resultados en lead time, stock, tiempos de espera y productividad, así como la evolución del stock total

► **RESULTADOS:** tabla con las métricas importantes (de despilfarros y eficiencia) del diseño realizado y tablas para comparar con otros dos diseños importados

---

11 -. Pantalla del menú de opciones propias para las «Instrucciones de utilización resumidas»

# Software para la planificación y diseño de procesos de un producto y de tipo multiproducto

## Presentación general

Veamos ahora cuanto hace referencia a la descripción, funcionamiento y utilización del software desarrollado para la planificación y diseño de procesos para elaborar un producto y los de tipo multiproducto, consistente en una aplicación —efectuado en Excel avanzado y programado con menús, como la anterior— que permite efectuar todas las actuaciones que precisan las líneas mono y multiproducto, en especial operando con el Lean Management.

El software referido se compone de un paquete para *agrupar los productos por familias* en el caso de la producción multiproducto, algo necesariamente previo a la gestión de los procesos de este tipo para así decidir qué productos pueden producirse en una misma línea. A continuación se desarrollará el paquete para la *planificación y diseño de líneas* tanto si son de tipo monoproducto como las de tipo multiproducto, lo que permitirá poder comparar ambas formas de proceder y elegir la más adecuada.

Así pues, el conjunto se compone pues de:

- 1) Un paquete informático con el software para la *agrupación de productos por familias*, para el caso de producción multiproducto en la que varios productos pueden agruparse en la misma línea al constituir una familia.
- 2) Un paquete informático para *planificar y diseñar líneas de producción mono y multiproducto*. A su vez este se compondrá de un menú principal con las siguientes opciones:
  - Nivelado de la producción para ajustarla a los distintos *takt time* de los productos a obtener.
  - Nivelado de los aprovisionamientos, para hacer lo más regular posible las necesidades de componentes en cada línea de producción, tanto para los proveedores internos como para los externos.
  - Análisis P-Q de los lotes a producir
  - Secuenciación de las operaciones de la línea en un flujo único, habida cuenta que en las líneas multiproducto, cada uno de ellos puede presentar una secuencia distinta.
  - Evaluación de las cargas de trabajo totales de cada puesto de la línea, en función de la programación de cada producto que ha de procesar.
  - Reconversión de las cargas de trabajo de los puestos en las líneas a diseñar en modo multiproducto, para que se hallen balanceadas. Se obtienen las cargas equilibradas mediante el método de *redistribución de capacidades*

desarrollado por el autor de este paquete informático, para estas líneas multiproducto.

- Diseño definitivo de la / las línea / líneas de producción, con la posibilidad de hacerlo en modo monoproducción (una línea distinta para cada producto) o multiproducto (una única línea para todos).

Para el diseño multiproducto no vamos a abarcar de nuevo todo un conjunto de procesos interconectados, que pueden constituir una planta completa, ya que no tendría sentido. En efecto, no se puede plantear diseñarlos todos en líneas multiproducto: hay que ir proceso a proceso, ya que unos procesos pueden cumplir las condiciones para efectuarse en líneas multiproducto y otros no. Por ejemplo, es corriente fabricar en máquinas o líneas monoproducción y, luego, ensamblar en líneas multiproducto.

Por ello, en nuestro caso, nos ceñiremos a una sola línea; así, el caso con el que iremos exponiendo como utilizar el programa informático para el diseño multiproducto, será un solo proceso, en este caso de tipo ensamblaje y para el mismo tipo de producto que antes.

Sin embargo, antes de abordar el paquete de diseño multiproducto, desarrollaremos una aplicación referida a una cuestión a resolver previamente: la *agrupación por familias* de los productos a obtener, ya que en las líneas multiproducto pueden obtenerse varios productos, pero éstos deben pertenecer a una misma familia, lo que supone que sus procesos han de ser suficientemente parecidos.

Por lo que se refiere al software, también está desarrollado sobre Excel avanzado y programado, con un menú general y sus opciones que van resolviendo todos y cada uno de los aspectos que componen el diseño de una línea multiproducto, previa agrupación por familias.

En estos dos paquetes no habrá una opción final con una guía rápida, sino que cada una de ellas lleva incorporadas breves indicaciones de cómo proceder, en los mismos lugares donde hay que actuar.

A continuación se encuentra la guía del usuario para ambos paquetes.

## Programa informático para agrupar por familias

[Agrupación Familias (VBA-2)]

Este programa opera, al igual que todos los de este manual, con un menú con varias opciones. La primera lleva la etiqueta DATOS, las siguientes se denominan FAMILIA <N>, siendo <N> el número de orden de una familia, que van de 1 a 5, por lo que hace referencia a la disponibilidad de este software. Una última opción se etiqueta como AGRUPACION PRO FAMILIAS / AJUSTES (presenta la agrupación definitiva, con la posibilidad de hacer ajustes de última hora). La figura 12 muestra dicho menú principal y sus opciones en forma de botones, con el que se abre automáticamente el programa. Veamos cuáles son estas opciones y la guía del usuario para cada una de ellas.



12 -. Menú principal del programa para la agrupación por familias

### 1. Opción del menú principal: DATOS

La opción «DATOS» del menú principal contiene una pantalla con el cuadro de doble entrada mostrado en la figura 13. En él, se observan los posibles productos como cabeceras de columnas, identificados con un número de orden inmediatamente debajo de cada producto (en el caso utilizado para ilustrar la matriz, son productos propios de un taller mecánico). El programa admite hasta 20 productos y también 20 procesos, aunque solo se han utilizado 15 productos, que precisan 15 procesos.

## PRODUCCIÓN MULTIPRODUCTO

### AGRUPACIÓN DE PRODUCTOS POR FAMILIAS (ATENDIENDO A LOS PROCESOS COMUNES)

MENU

[INTRODUCIR DATOS EN ZONAS CON FONDO AZULADO](#)

INTRODUCIR UN 1 EN LAS CASILLAS EN LAS UN PRODUCTO PRECISA EL PROCESO CORRESPONDIENTE:

DESCRIPCIONES ↓ PROCESOS ↓	DESCRIPC. PRODUCTOS → → → → → → → → → → → → → → → →														
	N° Producto >>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Armarío chapa	Carrío de tubo	Eje ruedas A	Estanteria ch. A	Estanteria tubo	Estanteria ch. B	Eje ruedas B	Caballote tubo	Eje ruedas C	Soporte chapa	Cazola rídam.	Sist guiado tubo	Soporte acero A	Soporte acero B	Guía deslizante
Corte en tronadora	1							1			1	1			
Corte en sierra circ.		1			1										
Prensa estampación	1									1					
Torneado			1				1		1		1		1	1	
Prensa embutición	1			1		1				1					
Troquelado	1			1		1				1					
Torneado		1											1		1
Roscado	1			1						1					
Roscado exterior							1								
Chaffanado														1	
Taladrado		1			1		1								1
Roscado interior		1			1										1
Soldadura			1	1	1		1	1				1			
Desbarbado				1		1				1					
Pulido			1					1			1	1			

I3. Matriz con los datos de productos y procesos

Como cabeceras de filas se hallan los procesos que operan con los productos anteriores y se identifican con la letra P seguida de un número de orden; en el caso utilizado como ejemplo son, en buena lógica, los propios para la operativa de un taller mecánico que permitan la producción de los productos referenciados.

El cuerpo del cuadro se llena con un símbolo —concretamente el número 1— allí donde se encuentran un producto que necesita un determinado proceso. Así, por ejemplo, hay un 1 donde la columna correspondiente al producto 2 (carrito de tubo) encuentra la fila del proceso P2 (corte en sierra circular), porque el producto 2 necesita el proceso P2.

Observando la parte de la matriz completa utilizada para nuestro caso, se puede apreciar que los 1 están distribuidos sin que se aprecie ninguna uniformidad, lo que no sirve para agrupar por familias, ya que una familia de productos tiene que tener cuantos más procesos del mismo tipo, mejor. Así pues, habrá que buscar un ordenamiento de productos que mantenga juntos, en una misma familia, aquellos cuyos procesos sean lo más similares posible.

Ante todo, hay que dejar claro que no hay una única agrupación por familias, ya que se puede pretender distintos grados de similitud en los procesos, lo que supone que la solución del problema de agrupación por familias no tiene una única solución y que, en algún momento, el usuario habrá de intervenir dando por buena determinada agrupación de productos en una misma familia.

Trataremos de identificar estas agrupaciones por familias con el grado de similitud en los procesos de cada producto que demos por bueno, todo ello en las siguientes opciones del programa.

La pantalla de la opción del menú que hemos mostrado tiene, como muestra la figura 13, un botón para regresar al menú principal.

## 2. Opciones del menú principal: FAMILIA 1 a FAMILIA 5.

Con la opción «Familia 1», se llevará a cabo la agrupación de productos que constituirán la primera familia, en la pantalla correspondiente a dicha opción, como muestra la figura 14.

A partir de la matriz de la opción anterior, el software elabora un cuadro, en el que se han anotado cuántos procesos comunes tienen los distintos productos entre sí. Sin embargo, el usuario no encontrará este cuadro, porque se halla oculto, dado que no ha de usarlo en ningún momento, ni le aporta ninguna información que precise; por ello, no se muestra en ninguna figura, simplemente comentamos su existencia. A partir de dicho cuadro, este software trata de localizar los productos que tienen más procesos comunes entre sí; en el caso que ilustra las figuras con las que exponemos este programa, resulta ser de 4 procesos comunes y corresponde a los productos 1, 4 y 10, por

lo que no resulta extraño que, al determinar la primera familia, tales productos serán los primeros en aparecer (mostrados donde dice «*Productos seleccionados:*»).

## AGRUPACIÓN DE PRODUCTOS POR FAMILIAS

## CONSTITUCIÓN DE LA FAMILIA 1

Introducir mínimo coincidencias elegido para productos: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 4)

Introducir mínimo número de procesos coincidentes dentro de la familia: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 4)

Productos >> 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20  
 Máximo numero coincidencias >> 4 3 2 4 3 3 2 3 2 4 2 3 1 2 3  
 ¿Se ajusta a número coincidencias elegido? (C) >> C C C C C C C C C C C C C C C

PRODUCTOS SELECCIONADOS: **1 4 6 10**

**MENU**

### PRODUCTOS SELECCIONADOS Y SUS PROCESOS:

Productos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Procesos P1										
P2										
P3	1									1
P4										
P5	1			1		1				1
P6	1			1		1				1
P7										
P8	1			1						1
P9										
P10										
P11										
P12										
P13				1						
P14				1		1				1

14. Planteamiento de la familia 1

Así pues, estos productos formarán inicialmente la base de la familia 1 de la agrupación y, a partir de ella, trataremos de averiguar si podemos añadir algún producto más a la misma. Para ello plantearemos si se admitirán en ella, productos con una cantidad de procesos comunes con otros, que lógicamente será inferior al máximo determinado anteriormente (4), decidiendo cuál ha de ser este mínimo número de coincidencias de procesos, para luego decidir cuántos procesos comunes entre sí han de presentar los productos elegidos para esta familia. Esta decisión por parte del usuario responde a la situación ya comentada de que no hay una única solución para la agrupación por familias y que el usuario, en último término, decidirá cuál será la propuesta definitiva.

En la figura 14 se observan los elementos de la cabecera de la pantalla con la etiqueta «*Constitución de la familia 1*». En ella, se observan, en tres líneas, los productos por su número identificativo, las coincidencias que tiene cada producto con otros, y cuáles cumplen con las exigencias que vamos a imponer en este sentido (letra C en la línea inferior).

En la misma figura se pueden observar dos recuadros con un número. Esta es la parte que corresponde a la decisión del usuario y que redundará en un mayor o menor grado de similitud dentro de la familia. Concretamente, se muestra cómo resultará la familia 1 tras decidir que admitiremos en ella, productos con un mínimo de 2 procesos comunes

con los otros (recuadro de la izquierda) y 2 procesos comunes entre ellos, pero que son los mismos (recuadro de la derecha). Estos dos valores los introduce, pues, el usuario. Debajo de cada una de estas dos decisiones, se halla, como información útil, el máximo número de coincidencias posible, para ambos casos (4 tanto en uno como en otro).

La figura 15 muestra de forma ampliada la parte de la pantalla correspondiente a la familia 1 en la que informa de que dicha familia estará integrada por los productos: 1, 4, 6 y 10. De haber elegido otros valores en relación con los procesos comunes, otros habría sido los productos elegidos para esta familia.

**PRODUCTOS SELECCIONADOS :** 1 4 6 10        

**PRODUCTOS SELECCIONADOS Y SUS PROCESOS:**

Productos >>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Procesos:	P1											
	P2											
	P3	1									1	
	P4											
	P5	1			1		1				1	
	P6	1			1		1				1	
	P7											
	P8	1			1						1	
	P9											
	P10											
	P11											
	P12											
	P13				1							
	P14				1		1				1	
	P15											

15. Coincidencias de procesos de la familia 1

El cuadro o matriz de fondo azulado que se puede observar justo debajo de los productos seleccionados muestra cómo quedaría la matriz de productos y procesos, por lo que se refiere a dichos productos seleccionados, observándose una coincidencia bastante acusada, que aconseja agruparlos en una única familia; de no ser así deberíamos seguir intentándolo, ensayando con nuevas cifras de coincidencias en los dos recuadros correspondientes.

A partir de ahí y volviendo al menú principal mediante el botón que se observa en la figura 14, trataremos de obtener la familia 2, utilizando el mismo procedimiento, aunque actuando con los productos que quedan por agrupar, una vez eliminados los de la familia 1. Con ellos, decidiríamos el mínimo de coincidencias de procesos con otros productos y el mínimo de coincidencias entre los seleccionados para constituir la familia 2 para, finalmente, observar los productos resultantes y sus procesos y la conveniencia de dejar la agrupación como haya resultado o seguir intentándolo con nuevos ajustes en los valores de las coincidencias.

La figura 16 muestra la cabecera de la familia 2, en la que ahora aparece, para los productos de la familia 1, la etiqueta FA, en referencia a que forman parte de la familia anterior y, ahora, ya no hay que tenerlos en cuenta.

La figura 16 muestra la matriz con los productos 2, 5 y 15, los seleccionados para la familia 2. En la citada figura se observa también el botón para volver al menú principal.

## AGRUPACIÓN DE PRODUCTOS POR FAMILIAS

## CONSTITUCIÓN DE LA FAMILIA 2

Introducir mínimo coincidencias elegido para productos: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 3)

Introducir mínimo número de procesos coincidentes dentro de la familia: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 3)

Productos >>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Máximo nº coincidencias (FA: Ya incluido en familia anterior)>>	FA	3	2	FA	3	FA	2	3	2	FA	2	3	1	2	3					
¿Se ajusta a número coincidencias elegido? (C) >>		C	C		C		C	C	C		C	C		C	C					

PRODUCTOS SELECCIONADOS: **2** **5** **15**

MENU

### PRODUCTOS SELECCIONADOS Y SUS PROCESOS:

Productos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Procesos P1															
P2		1			1										
P3															
P4															
P5															
P6															
P7		1													1
P8															
P9															
P10															
P11		1			1										1
P12		1			1										1
P13					1										

### 16. Planteamiento de la familia 2

De la misma forma continuaríamos actuando para constituir nuevas familias de productos, hasta agotar el total de los que nos hemos propuesto agrupar. Las figuras 17, 18 y 19 muestran cómo se han constituido las familias 3, 4 y 5, de forma similar a como se ha operado con las anteriores y todas ellas con el botón para volver al menú principal. Con ello se han agotado las posibilidades del software para constituir familias diferentes —cinco— pero en cada caso se habrán de utilizar tan solo las que hagan falta.

Resumiendo, los productos que finalmente hemos seleccionado para las distintas familias han sido:

- Familia 1: Productos 1, 4, 6 y 10
- Familia 2: Productos 2, 5 y 15.
- Familia 3: Productos 3 y 7.
- Familia 4: Productos 8, 11 y 12.
- Familia 5: Productos 9, 13 y 14.

## AGRUPACIÓN DE PRODUCTOS POR FAMILIAS

## CONSTITUCIÓN DE LA FAMILIA 3

Introducir mínimo coincidencias elegido para productos: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 3)

Introducir mínimo número de procesos coincidentes dentro de la familia: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 2)

Productos >>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Máximo nº coincidencias (FA: Ya incluido en familia anterior)>>	FA	FA	2	FA	FA	FA	2	3	2	FA	2	3	1	2	FA					
¿Se ajusta a número coincidencias elegido? (C) >>			C				C	C	C		C	C		C						

PRODUCTOS SELECCIONADOS: **3 7**

MENU

### PRODUCTOS SELECCIONADOS Y SUS PROCESOS:

Productos	1	2	3	4	5	6	7
Procesos P1							
P2							
P3							
P4			1				1
P5							
P6							
P7							
P8							
P9							1
P10							
P11							1
P12							
P13			1				1
P14							
P15			1				

17. Planteamiento de la familia 3

## AGRUPACIÓN DE PRODUCTOS POR FAMILIAS

## CONSTITUCIÓN DE LA FAMILIA 4

Introducir mínimo coincidencias elegido para productos: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 3)

Introducir mínimo número de procesos coincidentes dentro de la familia: **2**  
(Máximo de coincidencias posible = 2)

Productos >>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Máximo nº coincidencias (FA: Ya incluido en familia anterior)>>	FA	3	2	FA	2	3	1	2	FA											
¿Se ajusta a número coincidencias elegido? (C) >>								C	C		C	C		C						

PRODUCTOS SELECCIONADOS: **8 11 12**

MENU

### PRODUCTOS SELECCIONADOS Y SUS PROCESOS:

Productos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Procesos P1								1			1	1
P2												
P3												
P4										1		
P5												
P6												
P7												
P8												
P9												
P10												
P11												
P12												
P13								1			1	
P14												
P15								1			1	1

18. Planteamiento de la familia 4

## AGRUPACIÓN DE PRODUCTOS POR FAMILIAS

## CONSTITUCIÓN DE LA FAMILIA 5

Introducir mínimo coincidencias elegido para productos: **1**  
(Máximo de coincidencias posible = 2)

Introducir mínimo número de procesos coincidentes dentro de la familia: **1**  
(Máximo de coincidencias posible = 1)

Productos >>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Máximo nº coincidencias (FA: Ya incluido en familia anterior)>>	FA	2	FA	FA	FA	1	2	FA												
¿Se ajusta a número coincidencias elegido? (C) >>									C				C	C						

PRODUCTOS SELECCIONADOS: **9 13 14**

**MENU**

### PRODUCTOS SELECCIONADOS Y SUS PROCESOS:

Productos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Procesos P1														
P2														
P3														
P4									1				1	1
P5														
P6														
P7													1	
P8														
P9														
P10									1					1

19. Planteamiento de la familia 5

### 3. Opción del menú principal: AGRUPACION POR FAMILIAS /AJUSTES

Agrupados todos los productos por familias, podemos visualizar de forma conjunta cómo queda el conjunto de todos ellos, con las agrupaciones obtenidas, con el fin de poder proceder a un ajuste final del número de familias y los productos de cada una.

En efecto, sobre las agrupaciones resultantes podemos efectuar los ajustes finales que consideremos oportunos, teniendo en cuenta que la agrupación por familias no tiene, normalmente, una única solución. La figura 20 muestra la matriz de los productos y los procesos correspondientes, pero con los productos ordenados de acuerdo con las agrupaciones por familias que hemos obtenido. Para una mejor visualización, cada una de las familias se muestra separada de las adyacentes, con un espaciado a propósito.

De este modo se pueden visualizar todas las familias a la vez, observando hasta qué punto los productos agrupados en todas y cada una de las familias, tienen procesos suficientemente similares, pero también otros aspectos, como la posibilidad de que algún producto de una familia encajara mejor en otra o, incluso, que toda una familia fuera suficientemente similar a otra, como para que ambas pudieran fundirse en una sola. Y, al contrario, que los productos de una determinada familia presentaran una agrupación mejor, si se dividieran en dos familias separadas. Este último caso, además, da la posibilidad de realizar una agrupación en más de cinco familias —el límite las que admite el software— realizando primero un conjunto de agrupaciones “light” que no sobrepasara las cinco permitidas y, luego, dividir algunas de ellas en otras.

**PRODUCCIÓN MULTIPRODUCTO**  
**AGRUPACIÓN FINAL DE PRODUCTOS POR FAMILIAS**

**MENU**

**Agrupación propuesta / Agrupación ajustada (introducir ajustes abajo)**

PRODUCTOS AGRUPADOS POR FAMILIAS → → →	Familia 1			Familia 2			Familia 3		Familia 4			Familia 5			
	Armarío chapa	Estantera ch. A	Estantera ch. B	Soporte chapa	Carrío de tubo	Estantera tubo	Guía deslizante	Eje ruedas A	Eje ruedas B	Caballette tubo	Cazoleta rodam.	Sist guiado tubo	Eje ruedas C	Soporte acero A	Soporte acero B
Nº Producto >>> Código proceso:	1	4	6	10	2	5	15	3	7	8	11	12	9	13	14
P1					1					1					
P2	1					1						1			
P3				1									1		
P4	1	1	1	1				1	1		1		1	1	1
P5	1	1	1	1											
P6	1	1	1	1											
P7	1	1	1	1	1		1							1	
P8				1					1						
P9															
P10					1								1		1
P11					1	1	1		1						
P12					1	1	1								
P13					1			1	1			1			
P14					1	1				1					
P15								1		1					

Normas para ajustes: Introducir, en las celdas de la línea inferior, los números de producto que substituyan a otros de la agrupación realizada, o bien que amplían o reducen una familia o también si crea una nueva familia o elimina una.

**AJUSTES >>>**

20. Matriz final con las agrupaciones por familia y las posibilidades de editarlas.



trabajo (en *lean manufacturing* la polivalencia debe evitar esta situación). Si no se dieran estas circunstancias, podría decidirse no repetir el proceso en más de una familia; en tal caso, la producción de un producto encuadrado en una familia que no dispusiera del proceso, pero que lo precisara, debería organizarse correctamente mediante una salida del flujo y un retorno, gestionados mediante un sistema *kanban* u otro adecuado.

Cuando se trate de un proceso requerido por un único producto de todo el conjunto de ellos, evidentemente, no vamos a agrupar o dejar de agrupar el producto con otros por este hecho; es el resto de los procesos de este producto el que debe decidir la conveniencia de agruparlo con otros en una familia. Es el caso, por ejemplo, del producto 7, que precisa el proceso P9, proceso que no tiene ningún otro producto, pero precisa también otros tres procesos que sí se hallan presentes en otros productos y, dos de ellos, lo son de la misma familia que él, según hemos realizado la agrupación.

La pantalla de esta opción del menú tiene también el botón para volver a dicho menú principal.

# Programa informático para la planificación y diseño de líneas de producción mono y multiproducto

## [Planif & Diseño líneas (DVD) V-4]

Con este paquete informático se aborda la gestión integral —planificación y diseño— de líneas de producción, tanto las de tipo monoproducto como las de tipo multiproducto. Además gestiona también la decisión de operar con varias líneas monoproducto o una sola de tipo multiproducto. Finalmente, aunque muy importante, permite el diseño de las líneas de acuerdo con las pautas del *Lean Manufacturing* con una implantación en flujo balanceado, operativa en modo *pull*, etc.

En relación con la operativa *Lean Manufacturing*, incluye la planificación basada en el nivelado y la programación *Heijunka* con el mínimo necesario de operadores y en cantidad fija para todos los productos, en el caso de la operativa multiproducto.

Cuando se gestiona de acuerdo con el modelo tradicional, no se opera con líneas en flujo, sino en implantaciones de tipo funcional—talleres y la producción multiproducto supone tan solo que una misma máquina procesa piezas de productos o modelos distintos, lo que no cambia en relación a la producción monoproducto, ya que procesa las piezas de los contenedores que le llegan, sean piezas de un mismo producto o para distintos productos. Con esta modalidad de gestión, tan solo en el ensamblaje suele operarse en líneas en cadena; pero incluso con la filosofía tradicional encajarían en el diseño que efectuaremos, de acuerdo con el cual, las líneas deberían estar balanceadas (para que no haya trabajadores parados) y operar con la cantidad justa de personal necesario, la cual también sería conveniente que fuera fija.

Una vez más, el programa está dotado de un menú principal. La figura 22 muestra dicho menú con sus opciones, las que se abordarán en esta guía del usuario. Como puede apreciarse, el menú principal está dividido en dos bloques, los que ya hemos comentado que constituirán este paquete informático: la planificación de la producción por un lado y, por otro, el diseño de las líneas de producción. En ambos casos se podrá elegir operar en modo monoproducto o multiproducto.

## 1. Opción del menú principal: NIVELADO DE LA PRODUCCIÓN

La primera opción del menú se ocupa de la planificación de la producción, a partir del *nivelado* o *leveling*, para ajustar el ritmo de producción a la demanda; en el caso de producción de tipo multiproducto, este ajuste tiene lugar para cada producto, con una serie de unidades o lotes de producción de cada tipo ajustado al *takt time*. Con la producción de tipo monoproducto, también debe procederse al nivelado (para absorber las fluctuaciones momentáneas o coyunturales de la demanda). La figura 23 muestra la parte izquierda (entrada de datos) de la pantalla de nivelado de la producción.

## LÍNEAS DE PRODUCCIÓN MONO Y MULTIPRODUCTO EN FLUJO LINEAL O CELULAR

Diseño de las líneas, nivelado de la producción y aprovisionamientos y planificación Heijunka. Asignación de puestos de trabajo con saturación y balanceo.

### MENU DE OPCIONES

#### Planificación por nivelado

- Nivelado de la Producción (Heijunka)
- Nivelado de los aprovisionamientos
- Gráficos nivelado de aprovisionamientos
- Análisis P-Q de lotes de productos

#### Diseño de líneas de producción

- Operaciones / Gama ficticia
- Diseño de la línea / Carga - Capacidad
- Tiempos de la operativa multiproducto
- Diseño de puestos de trabajo de la línea

22. Menú principal del paquete informático para la planificación y diseño de líneas de producción.

### PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN MONO Y MULTIPRODUCTO

EN TODA LA APLICACIÓN: INTRODUCIR LOS DATOS EN LAS CELDAS CON FONDO Y CARACTERES AZULES

**Planificación de la producción por nivelado:**

**Producto(s):** *DVD Player (varios modelos)*      **Período (días):** *20*

**Proceso:** *Ensamblaje final*      **Tiempo diario (horas):** *8*

**Lotes de producción por modelos (unidades):**

*Introducir modelo de producto, cantidades por período y denominación abreviada del modelo:*

Ref.	Modelo	Período	Diaria	Abreviado
1	Elimag 100	400	20	E-100
2	Elimag 100 +	800	40	E-100 +
3	Elimag 100 UE	3.200	160	E-100 UE
4	Elimag 100 USA	2.400	120	E-100 USA
5	Elimag 100 CH	800	40	E-100 CH
6	Elimag 250	3.200	160	E-250
7	Elimag 250 +	2.000	100	E-250 +
8	Elimag 250 UE	4.000	200	E-250 UE
9	Elimag 250 USA	1.200	60	E-250 USA
10	Elimag 250 CH	400	20	E-250 CH

23. Opción del menú principal para la planificación de la producción y entrada de datos

En efecto, hay una pantalla para la entrada de datos (la de la figura 23) y otra para la ejecución del nivelado, que expondremos mediante la figura 24. La tabla de entrada de la figura 23 puede ser más larga (por esto muestra una línea discontinua abajo).

Asimismo en el lateral izquierdo se observa un menú con tres opciones para seleccionar: la pantalla de la figura 23 (entrada de datos), la ejecución de la programación tras el nivelado (Heijunka) y volver al menú principal. En la figura 23 observamos, debajo de este menú, unas breves instrucciones para el usuario.

Los datos de la pantalla de la figura 23 son, según se puede comprobar:

- Producto, que podrá tener variantes, modelos o referencias —que en adelante llamaremos simplemente «tipo de producto»— para líneas de tipo multiproducto.
- Proceso
- Periodo de tiempo a planificar (en días)
- Duración de la jornada (en horas)
- Lotes de producción a efectuar, con la siguiente información en cada uno:
  - Número de orden (Ref.)
  - Tipo de producto
  - Tamaño de lote a producir en el período de planificación
  - Tamaño del lote diario
  - Identificación abreviada del tipo de producto

Cada conjunto de datos, es decir, los correspondientes a un lote de producción a planificar, ocupa una línea de la tabla que muestra la citada figura 23, tabla que, en el software, tiene una capacidad para 20 tipos de producto.

En la figura se observa que todos los datos debe introducirlos el usuario, excepto el número de orden («Ref.») y el tamaño del lote diario («*Diaria*»), ambas en negro, lo que en todo este programa informático significará que se trata del resultado de un cálculo, mientras que los datos que ha de entrar el usuario aparecen en color azul.

Pulsando la opción «Programaciones Heijunka» del menú de la misma pantalla que hay en el margen izquierdo, se pasa a la parte de dicha pantalla correspondiente a los cálculos del nivelado con los anteriores datos. Esta parte nos lleva a la pantalla de la figura 24, en la que aparecen los resultados para el nivelado en sus dos variantes, las correspondientes a los dos tipos de producción multiproducto existentes:

- *Producción en series monoproducto* (o monomodelo o monoreferencia), en la cual, aunque la línea sea de tipo multiproducto, cuando opera, lo hace con un solo tipo de producto. Al acabar el lote o serie, empieza otro con otro tipo de producto
- *Producción mezclada* en la cual, en el mismo lote o serie se incluyen distintos tipos de producto.

Ante todo se observa el valor del máximo común divisor (MCD) de los tamaños de los lotes diarios, dato necesario para determinar la cantidad de unidades de cada tipo de producto a incluir en una serie llamada «básica» que irá repitiendo. Dicha cantidad de unidades ha de ser igual al lote diario de cada producto, dividido por el MCD.

**Seleccionar opción:**

- Entrada de datos
- Planificación Heijunka
- MENU PRINCIPAL

Serie  
básica  
Nº Uds.

1
2
8
6
2
8
5
10
3
1

**PLANIFICACIÓN  
HEIJUNKA**

Resultados del nivelado  
de la producción:

- *Tiempos de ciclo y serie básica*
- *Programación Heijunka mezclada*
- *Prog. Heijunka en lotes monoproduct.*

**PROGRAMACIÓN HEIJUNKA: Series niveladas resultantes:**

M.C.D. sobre producción diaria = **20**      Tiempo CICLO MEDIO (min.) = **0,52**      Tiempo CICLO MEDIO (seg.) = **31**

**Programación Heijunka mezclada [ repetida 20 veces / día ] :**      **Total productos: 46**  
COMPUESTA DE LAS SIGUIENTES SERIES (de productos, obtenidas tomando por columnas las diferentes series de un mismo producto dispuestas en filas)

E-250 UE ●
E-100 UE ● E-100 USA ● E-250 ● E-250 + ● E-250 UE ●
E-100 UE ● E-250 ● E-250 UE ●
E-100 UE ● E-100 USA ● E-250 ● E-250 + ● E-250 USA ●
E-100 + ● E-100 UE ● E-100 USA ● E-100 CH ● E-250 ● E-250 UE ●
E-250 + ● E-250 UE ●
E-100 UE ● E-100 USA ● E-250 ● E-250 UE ● E-250 USA ●
E-100 UE ● E-250 ● E-250 + ● E-250 UE ●
E-100 UE ● E-100 USA ● E-250 ● E-250 UE ●
E-100 ● E-100 + ● E-100 UE ● E-100 USA ● E-100 CH ● E-250 + ● E-250 UE ● E-250 USA ● E-250 CH ●

**Programación Heijunka en lotes monoproducto  
[ repetidas 20 veces en el periodo de 20 días ] :**

Para tener terminadas series de todos los productos en (horas):  horas

Serie de 20 Uds. de E-100
Serie de 40 Uds. de E-100 +
Serie de 160 Uds. de E-100 UE
Serie de 120 Uds. de E-100 USA
Serie de 40 Uds. de E-100 CH
Serie de 160 Uds. de E-250
Serie de 100 Uds. de E-250 +
Serie de 200 Uds. de E-250 UE

Tiempo disponible para operar (seg.): **28.800**

Tiempo de ciclo de la serie básica (seg.): **1.440**

Cantidad de veces a realizar este conjunto de series: **20**

*24. Obtención del nivelado de la producción*

Luego, repitiendo la serie básica precisamente un número de veces igual al MCD, se obtiene la producción total del lote diario previsto para cada uno de los tipos de producto. Si la línea es de tipo mezclada, será tal como hemos dicho, previo mezclado de los elementos de la serie básica; si es de tipo series monoproducto, acabaremos agrupando en una sola, un número determinado de series básicas que dependerá de un objetivo que ha de fijarse.

En el caso de la figura 24, observamos la cantidad de cada uno de los tipos de producto que constituyen la serie básica (cifras en una columna a la izquierda), en total, 46 unidades de todos ellos. A su derecha el software ha calculado:

- La serie nivelada mezclada, compuesta de una sola unidad de los siguientes tipos de producto:

E-250 UE, E-100 UE, E100 USA, E250, E-250 +, E-250 UE, E-100 UE ...

Es decir, los productos de las diferentes líneas del cuadro «Programación Heijunka mezclada [repetida 20 veces / día:]»

- La compuesta por varias series monoproducto, cada una de las cuales agrupando varias series básicas no mezcladas. El número de ellas depende un número de horas de producción que ha de entrar el usuario (es el objetivo al que hacíamos referencia). En este caso ha sido 8. De este modo esta serie monoproducto se compondrá de las series:

Una serie de 20 unidades de E-100, una serie de 40 unidades de E-100+, ...

La información de las series resultantes se halla en un cuadro, al lado del cual se encuentra la información relativa al tiempo disponible para operar, el tiempo de ciclo total de la serie básica y el número de veces a realizar el conjunto de lotes de la serie obtenida en el cuadro.

En los cuadros correspondientes a los dos tipos de nivelado efectuado, no se han visionado las series completas, ni caben en la figura 24, pero ambas se hallan en su correspondiente cuadro que dispone de una barra de desplazamiento a la derecha, que permite visionar todas las series.

Estas series resultantes constituyen la planificación de la producción, en sus dos variantes (mezclada y series monoproducto). Este procedimiento para planificar por medio del nivelado, utilizado en el *Lean Manufacturing*, se conoce como *Heijunka*.

## 2. Opción del menú principal: NIVELADO APROVISIONAMIENTOS

La siguiente opción continua con el nivelado, pero ahora se trata de nivelar también los aprovisionamientos, además del nivelado de la producción ya efectuado. Para ello, una buena solución es nivelar los aprovisionamientos dentro de una serie básica nivelada para la producción (lo efectuado hasta ahora).

Este tipo de nivelado suele efectuarse con menor frecuencia considerando, en general, que, nivelando la producción, los aprovisionamientos también quedarán bastante

nivelados, cosa que no siempre es así (especialmente, si un mismo producto tiene un consumo con fuertes variaciones de ciertos componentes). En cualquier caso, estamos ante un tipo de nivelado que precisa un volumen muy elevado de cálculos, aunque, como es lógico, operando con el software esto no será un problema.

La figura 25 muestra la pantalla correspondiente a esta opción, cuyo encabezamiento es el mismo que en la opción correspondiente al nivelado de la producción: producto, proceso, período de producción y duración de la jornada.

Justo debajo, la pantalla muestra la serie básica nivelada para la producción —productos y cantidades para cada uno— cuyos aprovisionamientos habrá que nivelar. Estos datos y los del encabezamiento, se han tomado de la opción anterior.

A continuación se hallan varias tablas con los datos necesarios, los consumos resultantes y la serie nivelada por aprovisionamientos obtenida. Los datos, en este caso, se centran en los componentes aprovisionados, con los que llevar a cabo la operativa del nuevo nivelado. La pantalla de la citada figura 25 muestra la tabla con los componentes a aprovisionar y las cantidades de cada uno necesarias, cuya nivelación pretendemos (datos nuevos y, por tanto, en color azul). La tabla tiene capacidad para 50 entradas con diversos tipos componentes (una leyenda a la izquierda de la tabla, lo indica y una línea de puntos en la parte inferior de la tabla de la figura refiere que pueden usarse más líneas de las mostradas). En esta tabla y, a la derecha de los nombres de los componentes entrados, se deberán introducir las cantidades de cada uno de ellos que necesita cada tipo de producto, situándolas en las columnas correspondientes a dichos productos. No es necesario introducir la información de aquellos componentes que tienen el mismo consumo, sea cual sea el tipo de producto. En efecto, cualquier ordenación de los tipos de producto de la serie básica que pueda hacer más constante el consumo de componentes —que es lo que se pretende con este nivelado— dará lugar al mismo consumo para este tipo de componentes.

Con estos datos se efectúan los cálculos, cuyos resultados se hallan a la derecha de la pantalla de esta opción del menú tal como muestra la ya citada figura 25. Efectivamente, a la derecha de la tabla se hallan los cálculos del consumo total por componente para todos los productos que lo precisan y el consumo medio por producto.

Más a la derecha se observa ya el resultado en forma de la serie nivelada de los tipos de producto, con la leyenda «Secuencia nivelada». Se trata de la propia serie básica, con sus 46 unidades de producto, pero ordenada de una nueva manera, de forma que el consumo general de componentes oscile lo menos posible. Para que pueda observarse completa sin ocupar un espacio excesivo, la serie se halla en un cuadro con una barra de desplazamiento al costado derecho. Obsérvese que la serie aparece ya muy mezclada, lo que resulta muy conveniente, ya que así los productos se entregarán de una forma muy regular y no concentrados en unos momentos, mientras en otros no se entregue nada (esto mismo ya se exigió en el nivelado de la producción). Pero este mismo aspecto es bueno para combinar bien los productos que consumen mucho de cierto componente con otros que consuman poco o nada, haciendo el consumo global más regular.

## PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN: NIVELADO DE LOS APROVISIONAMIENTOS

**Producto(s):** DVD Player (varios modelos) **Período de producción (días):** 20

**Proceso:** Ensamblaje final **Duración jornada diaria (horas):** 8

Para asegurar también el nivelado de la producción se actuara sobre la SERIE BÁSICA

MODELOS DE PRODUCTO >>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E-100 E-100+ E-100 UE E-100 USA E-100 CH E-250 E-250+ E-250 UE E-250 USA E-250 CH	1	2	8	6	2	8	5	10	3	1										
CANTIDADES SERIE BÁSICA >>	1	2	8	6	2	8	5	10	3	1										

### SECUENCIA NIVELADA

Serie básica mezclada con:

- Nivelado producción
- Nivelado aprovisionamientos

### CONSUMO TOTAL DE COMPONENTES

Total componente [N] Por ut. produco [N]/[Q]

Cantidad total de productos: 46

**COMPONENTES POR MODELOS** Consumos de componentes por unidad de cada modelo:

(Solo es preciso introducir los modelos cuyo consumo de componentes varía de un modelo de producto a otro)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Modulos de carcasa	1	1	2	3	1	1	2	3	3	1										
Conectores	2	3	4	4	2	2	3	4	4	2										
Modulos botonera	2	2	3	4	2	3	3	4	4	3										
Servosistemas	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3										
Modulos display	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2										
Modulos memoria HD	1	2	2	3	2	2	3	3	3	2										
Materia diverso	8	10	14	14	10	12	16	16	12	12										

E-100 UE	97	2,11
E-250 USA	153	3,33
E-250 +	152	3,30
E-250	119	2,59
E-100 USA	73	1,59
E-100 UE	115	2,50
E-250	628	13,65
E-250 UE		
E-100 UE		
E-250		
E-100 USA		
E-100 UE		
E-250		
E-250 UE		
E-250 USA		
E-250 +		
E-250		
E-100 UE		
E-100 USA		
E-250		

- Seleccionar opción:**
- Entrada de datos
  - Ver tabla de desviaciones
  - MENU PRINCIPAL

### DATOS Y SECUENCIA NIVELADA

(Introducir datos en las casillas con fondo y caracteres en azul)

- Datos de consumo de componentes
- Consumo total de componentes
- Secuencia nivelada resultante

25. Datos para el nivelado de los aprovisionamientos, consumos resultantes y serie nivelada obtenida

Finalmente, en el margen izquierdo de la figura 25 hay un menú y, debajo, una breve información acerca de la opción actual. La primera opción del menú conduce a lo expuesto en relación con la figura 25; La segunda opción lleva a la tabla con los cálculos para obtener la serie nivelada por aprovisionamientos; finalmente hay una opción para la vuelta al menú principal. Vamos a ocuparnos de la opción que lleva a la figura 26.

**TABLA DE OBTENCIÓN DE LAS DESVIACIONES MÍNIMAS PARA LA SECUENCIA NIVELADA**

Orden [K]	Desviaciones por productos (ref. peatiera Nivelado producción)																				Desviación mínima	Producto a serie nivelada	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
1	6,29	4,16	1,27	1,67	4,38	2,53	2,51	2,80	2,25	2,53											1,27	3	E-100 UE
2	6,28	4,34	2,54	2,41	4,38	2,24	2,80	3,15	2,08	2,24											2,08	9	E-250 USA
3	7,26	5,29	2,62	3,22	5,19	3,04	1,72	3,09	4,14	3,04											1,72	7	E-250 +
4	4,92	3,03	2,33	3,02	2,97	1,25	3,77	4,39	2,86	1,25											1,25	6	E-250
5	6,99	4,85	1,02	0,95	5,08	3,60	2,95	2,47	2,86	3,60											0,95	4	E-100 USA
6	6,21	4,12	1,34	2,42	4,23	2,34	2,44	3,18	3,07	2,34											1,34	3	E-100 UE
7	6,13	4,22	2,43	2,85	4,17	1,84	2,61	3,38	2,82	1,84											1,84	6	E-250
8	8,07	5,93	2,13	1,71	6,11	4,22	1,45	1,13	3,32	4,22											1,13	8	E-250 UE
9	5,34	3,19	1,70	2,34	3,32	1,96	3,34	3,85	2,41	1,98											1,70	3	E-100 UE
10	5,32	3,42	2,78	2,91	3,35	1,80	3,56	4,11	2,25	1,60											1,80	6	E-250
11	7,34	5,20	2,10	1,15	5,41	3,88	2,46	2,19	2,49	3,88											1,15	4	E-100 USA
12	6,56	4,47	2,15	2,39	4,58	2,64	2,23	2,87	2,61	2,64											2,15	3	E-100 UE
13	6,67	4,61	3,33	3,22	4,78	2,70	2,86	3,46	2,79	2,70											2,70	6	E-250
14	8,56	6,45	3,29	2,50	6,61	4,77	2,13	1,69	3,45	4,77											1,69	8	E-250 UE
15	5,85	3,78	2,62	2,54	3,88	2,57	3,36	3,76	2,09	2,57											2,09	9	E-250 USA
16	6,81	4,71	2,45	3,13	4,65	3,09	2,27	3,54	4,00	3,09											2,27	7	E-250 +
17	4,47	2,36	2,60	3,27	2,38	2,01	4,31	4,94	3,02	2,01											2,01	6	E-250
18	6,70	4,49	1,63	1,67	4,79	3,97	3,34	3,40	3,08	3,97											1,63	3	E-100 UE
19	6,46	4,33	2,12	1,67	4,48	3,37	3,12	3,26	2,40	3,37											1,67	4	E-100 USA
20	5,67	3,60	2,46	2,92	3,61	2,17	3,16	3,92	2,78	2,17											2,17	6	E-250
21	7,75	5,53	2,23	1,91	5,77	4,41	2,37	2,36	3,33	4,41											1,91	4	E-100 USA
22	7,03	4,86	2,31	2,86	5,00	3,40	2,15	3,02	3,45	3,40											2,15	7	E-250 +
23	4,82	2,69	2,50	3,04	3,04	2,50	4,27	4,61	2,29	2,50											2,29	9	E-250 USA
24	5,87	3,77	2,13	3,42	3,88	2,89	3,35	4,33	2,89	2,89											2,13	3	E-100 UE
25	5,66	3,67	2,66	3,52	3,57	2,15	3,23	4,30	2,15	2,15											2,15	6	E-250
26	7,62	5,41	2,05	2,39	5,59	4,19	2,07	2,62	4,19	2,62											2,05	3	E-100 UE
27	7,47	5,36	2,64	2,58	5,42	3,76	1,94	2,62	3,76	2,62											1,94	7	E-250 +
28	5,32	3,31	2,54	2,52	3,50	2,72	3,99	4,19	2,72	2,72											2,52	4	E-100 USA
29	4,61	2,77	3,24	3,81	2,75	1,78	4,32	4,98	1,78	1,78											1,78	6	E-250
30	6,63	4,49	2,08	2,13	4,77	3,03	3,14	3,58	3,58	3,58											2,08	3	E-100 UE
31	6,59	4,61	2,67	4,74	3,21	3,38	3,31	3,31	3,31	3,31											2,67	4	E-100 USA
32	6,04	4,26	2,67	4,74	4,25	3,63	4,34	2,84	2,84	2,84											2,64	10	E-250 CH
33	7,89	5,81	2,67	4,74	6,02	2,59	2,63	2,63	2,63	2,63											2,59	7	E-250 +

NECESARIAS PARA CADA MODELO DE PRODUCTO (capacidad: 50 componentes)

Seleccionar opción:

- Entrada de datos
- Ver tabla de desviaciones
- MENU PRINCIPAL

**TABLAS DE DESVIACIONES**

Desviaciones respecto al ideal por productos - componentes:

- Desviaciones de productos-comp.
- Producto con desviación mínima
- Productos para la serie nivelada

26. Tabla para obtener la serie nivelada por aprovisionamientos

En dicha tabla figura para cada producto (columnas) la desviación del consumo que implica respecto al consumo ideal, consumo que se calcula en las filas para cada nuevo producto a añadir a la serie nivelada. En cada fila se selecciona el producto que implique la mínima desviación, información que se observa en las tres columnas a la derecha de todo: el tercer producto —E-100 UE— en la primera fila, con un valor de 1,27; el noveno —E-250 USA— en la segunda, con un valor de 2,08, etc. En la última columna figura la serie nivelada resultante, ya mostrada en la figura 25, donde se ha constatado que apenas hay repeticiones.

La propia figura 26 muestra también el mismo menú de la figura 25, ambas formando parte de la opción del menú principal relacionada con el nivelado de aprovisionamientos. Obsérvese, sin embargo, que en la figura 25 quedaba seleccionada la primera opción y en la 26 la segunda. La tercera ya sabemos que es la vuelta al menú principal.

Naturalmente, la serie nivelada obtenida, es ahora la planificación de la producción a poner en marcha, en una nueva variante que nivela la producción y los aprovisionamientos. Será la nueva planificación *Heijunka* con un nivelado más completo.

Este nuevo nivelado, se completa en este programa con unos gráficos que muestran hasta qué punto se han nivelado los aprovisionamientos; pero esto se halla en una nueva opción del menú principal de la que nos vamos a ocupar seguidamente.

### 3. Opción del menú principal: GRÁFICOS NIVELADO APROVISIONAMIENTO

Esta opción del menú general muestra varios gráficos con la evolución del consumo de componentes en relación al que supondría un consumo constante. En efecto, partiendo del cálculo del consumo real de los cuatro primeros componentes (de acuerdo con lo efectuado anteriormente) y comparándolo con el consumo ideal, que supondría una evolución totalmente constante de dicho consumo, la pantalla de esta opción muestra los gráficos con la evolución de ambos, correspondientes a cada uno de los cuatro componentes tomados, los cuales pueden observarse en la figura 27.

En cada gráfico, observamos la evolución del consumo ideal que, al ser constante, será una recta (línea azul). Junto a ella, se muestra la evolución del consumo real (línea roja), formado por una serie de segmentos de recta que avanzan lo más cerca que pueden —en unos casos más, en otros, menos— de la línea azul del consumo regular; incluso hay algún caso (véase el tercer gráfico) en que ambas líneas casi se confunden.

Así pues, se observa que el consumo de componentes se ha vuelto muy regular, al planificar la producción de los distintos productos en un orden muy concreto que permite que se compensen entre sí las necesidades de los distintos componentes.

Esta pantalla tiene a la izquierda un botón para volver al menú principal.

## GRAFICOS DE CONSUMOS REALES DE COMPONENTES TRAS EL NIVELADO DE APROVISIONAMIENTOS

Consumos ACUMULADOS de los cuatro primeros componentes para los primeros 10 productos de la serie nivelada

Prod. en serie (K) >> 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Prod. en serie (K) >> 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### SERIE NIVELADA

Secuencia de los diez primeros productos

- 3 E-100 UE
- 9 E-250 USA
- 7 E-250 +
- 6 E-250
- 4 E-100 USA
- 3 E-100 UE
- 6 E-250
- 8 E-250 UE
- 3 E-100 UE
- 6 E-250

### COMPONENTE C1

Consumo medio >> 2,11 4,22 6,33 8,43 10,54 12,65 14,76 16,87 18,98 21,09  
 Cons. real >> 2 5 7 8 11 13 14 17 19 20

### COMPONENTE C2

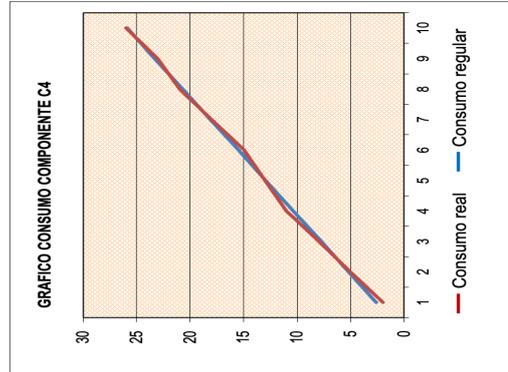
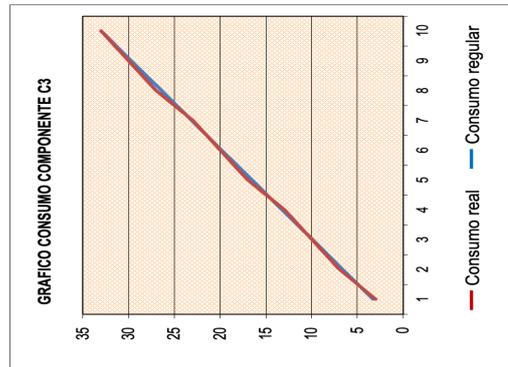
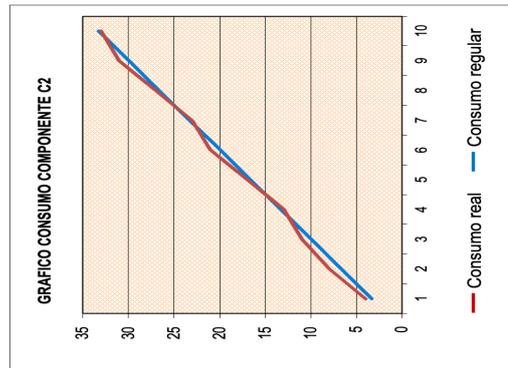
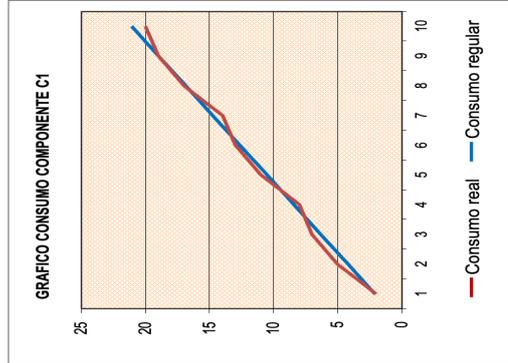
Consumo medio >> 3,33 6,65 9,98 13,30 16,63 19,96 23,28 26,61 29,93 33,26  
 Cons. real >> 4 8 11 13 17 21 23 27 31 33

### COMPONENTE C3

Consumo medio >> 3,30 6,61 9,91 13,22 16,52 19,83 23,13 26,43 29,74 33,04  
 Cons. real >> 3 7 10 13 17 20 23 27 30 33

### COMPONENTE C4

Consumo medio >> 2,59 5,17 7,76 10,35 12,93 15,52 18,11 20,70 23,28 25,87  
 Cons. real >> 2 5 8 11 13 15 18 21 23 26



MENU

27. Gráficos comparativos de la evolución del consumo de componentes con la evolución ideal

## 4. Opción del menú principal: ELECCIÓN LÍNEA – ANÁLISIS P - Q

En el contexto de esta opción del menú habrá que decidir con qué tipo de implantación se llevará a cabo la producción que se ha planificado. Más concretamente, habremos de decidir si se hará mediante líneas monoproducto o tendremos la posibilidad de implantar una línea de tipo multiproducto.

La posibilidad de implantar una línea multiproducto depende de varios factores:

- Que varios productos puedan agruparse en una sola familia. Se dispone de un programa informático para ello, ya expuesto en este manual, por lo que esta exigencia puede hacerse efectiva con las herramientas que tenemos.
- Que, además, la carga de trabajo planificada para todos los productos de la familia no sature la capacidad de la línea. Por ejemplo, si los productos A, B y C son familia, pero su carga supone el 75%, 80% y 65% de la capacidad de una línea multiproducto que llevara a cabo su producción, más valdría disponer una línea (monoproducto) para cada uno de ellos, ya que entre todos juntos suponen el 220% de la capacidad de la línea.

Para cubrir esta segunda exigencia, basta comparar la carga de trabajo planificada —que ha sido obtenida con la herramienta del nivelado que ha permitido planificar el volumen a producir— con la capacidad prevista para la línea, para decidir si la relación carga / capacidad es excesiva o no.

- Que haya suficiente variedad de productos en la línea. En efecto, sea una familia de productos integrada por uno A, que suponga una carga de trabajo del 75% de la capacidad de la línea y otros B, C, D y E, con cargas del 30%, 20%, 25% y 18% de la capacidad, respectivamente. Éstos últimos suponen una carga variada y suficiente para una línea multiproducto, pero el A tiene una carga excesiva y muy distinta de los demás productos lo que recomendaría una línea monoproducto para él solo.

La variedad de una familia de productos se examina con el análisis P-Q, lo que se efectúa en esta parte del software de la que vamos a ocuparnos seguidamente.

La figura 28 ilustra la pantalla de esta opción del programa, en la que en la parte superior izquierda se halla un cuadro en el que el usuario ha de introducir la denominación de los lotes de productos a producir y las cantidades. A su derecha, otro cuadro muestra automáticamente los mismos lotes, pero ordenados de mayor a menor volumen de producción, añadiendo una columna con los totales acumulados y otra con el porcentaje que sobre el total suponen estos montantes acumulados.

De este cuadro nos interesan las dos columnas en rojo: el número de cada lote (P) y el porcentaje del montante acumulado sobre el total (Q); la relación entre ambas es el objetivo del análisis P-Q, que da lugar al gráfico correspondiente en la citada figura 28.

## PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN: AJUSTE A LÍNEAS MONOPRODUCTO O MULTIPRODUCTO

Producto(s): DVD Player (varios modelos)

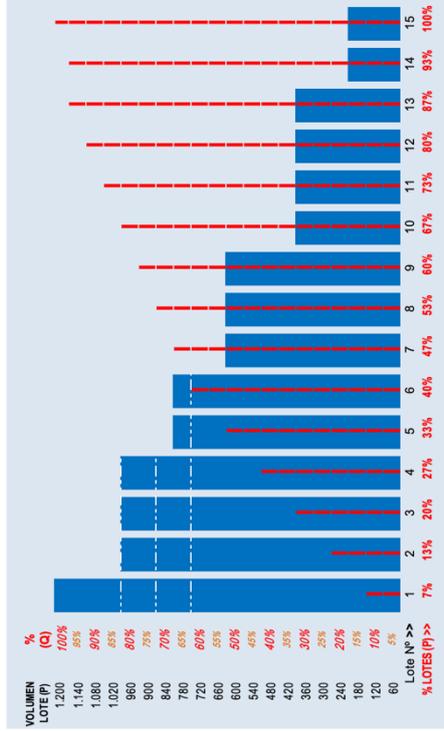
Distintuir entre producción de grandes lotes de pocos productos (mass production) con relación P-Q = 20-80 y la de pequeños lotes de muchos productos (lean management) con relación P-Q = 30-70 o, mejor aun, 40-60. Con relaciones 30-70 y 40-60, será adecuada la producción en líneas multiproducto, que cumplen la exigencia lean de operar en flujo y por la necesidad de producir una variedad de productos en pequeñas cantidades.

### Plan de producción:

LOTE ORIGINAL	PRODUCTO O MODELO	VOLUMEN	LOTE
1	E-100	1.000	
2	E-100 +	200	
3	E-100	800	
4	E-100 USA	400	
5	E-100 CH	200	
6	E-100	600	
7	E-100 UE	600	
8	E-100	1.200	
9	E-100 UE	1.000	
10	E-100	800	
11	E-100 +	400	
12	E-100 UE	600	
13	E-100	1.000	
14	E-100 CH	400	
15	E-100 USA	400	

Los del plan de producción en orden decreciente

LOTE (P) ORDENAD	PRODUCTO O MODELO	VOLUMEN LOTE	TOTAL ACUMULADO	% TOTAL (Q)
1	E-100	1.200	1.200	13%
2	E-100	1.000	2.200	23%
3	E-100 UE	1.000	3.200	33%
4	E-100	1.000	4.200	44%
5	E-100	800	5.000	52%
6	E-100	800	5.800	60%
7	E-100	600	6.400	67%
8	E-100 UE	600	7.000	73%
9	E-100 USA	600	7.600	79%
10	E-100 USA	400	8.000	83%
11	E-100 CH	400	8.400	88%
12	E-100 +	400	8.800	92%
13	E-100 USA	400	9.200	96%
14	E-100 +	200	9.400	98%
15	E-100 CH	200	9.600	100%



### Agrupamiento de lotes del mismo producto / modelo:

LOTE (P)	PRODUCTO O MODELO	VOLUMEN LOTE	TOTAL ACUMULADO	% TOTAL (Q)
1	E-100	5.400	5.400	56%
2	E-100 UE	2.200	7.600	79%
3	E-100 USA	800	8.400	88%
4	E-100 +	600	9.000	94%
5	E-100 CH	600	9.600	100%

Agrupamiento de lotes del mismo producto / modelo



### OBSERVACIONES:

Se ha tomado una parte importante de la producción planificada para todos los modelos E-100, forzando que haya cantidades que se acerquen al total, para los dos modelos con mayor producción (E-100 y E-100 UE) y comprobar así, qué ocurre cuando hay uno o pocos lotes muy elevados en comparación con los demás.

MENU

En este gráfico, situado en la parte superior derecha de la pantalla de esta opción, se observan los montantes de los lotes del plan de producción entrado por el usuario —el cuadro ya comentado situado en la parte superior izquierda de esta pantalla— convertido en el cuadro a su derecha, con dichos montantes en orden decreciente según hemos visto. Dichos montantes se observan en el gráfico en forma de barras de color azul, cuya altura es decreciente (dado que lo son dichos montantes) y, también los porcentajes acumulados en forma de líneas de color rojo superpuestas a las anteriores barras. En los ejes de dicho gráfico se encuentran:

- Eje horizontal: número de orden del lote (negro) y porcentaje sobre el número total de lotes (en rojo), que representa la P.
- Eje vertical: montante de los lotes en unidades (negro) y porcentaje sobre el total acumulado (rojo), que representa la Q.

El gráfico de barras se mide sobre los valores en negro en ambos ejes y, el de líneas de color rojo, que representa la evolución de Q en relación con P, medidos ambos en porcentaje, se mide con los valores en rojo para ambos ejes.

El análisis P-Q pretende medir si con pocos lotes (P) ya se alcanza una gran parte del resultado (Q) o no. Normalmente se considera:

- Una *relación 20-80* para la que el 20% en P alcanza el 80% en Q: Poca variedad: algún producto convendría procesarlo en una línea monoproducto.
- Una *relación 30-70* para la que el 30% en P alcanza el 70% en Q: mejora la variedad y puede considerarse la posibilidad de efectuar la producción de todos los productos en una línea multiproducto.
- Una *relación 40-60* para la que el 40% en P alcanza tan solo el 60% en Q: la variedad es buena y lo normal es efectuar la producción de todos los productos en una línea multiproducto.
- La siguiente opción, la *relación 50-50* supondría la variedad absoluta, resultaría harto difícil que se diera.

En el caso que muestra el programa de la figura 28, el 20% de los lotes supone un total de aproximadamente el 30% del montante total a producir (véase la tercera línea roja), el 30% de los lotes rondaría el 50% de la producción, y el 40% supone aproximadamente el 60% del total a producir. Este último caso, que corresponde a la sexta línea roja, queda visualizado por una línea blanca discontinua horizontal y nos informa de que estamos ante un caso de relación P-Q = 40-60. En este caso la variedad está asegurada y recomendaríamos una línea multiproducto (si no falla ningún otro condicionante).

Curiosamente, ayuda mucho a lograr una mayor variedad que la producción conste de varios lotes pequeños que repitan el tipo de producto —algo que, además, se ajusta mucho a la filosofía del *Lean Management*— en lugar de pocos y grandes (reuniendo los lotes del mismo tipo de producto en uno solo). En efecto, supongamos que se juntan los distintos pequeños lotes de un mismo producto en uno solo más grande. En la propia figura 28, en el planteamiento existente justo debajo del anterior se nos informa de lo que ocurre: en este caso solo hay cinco lotes (cuadro asimismo debajo del anterior)

todos ellos de productos distintos y mucho mayores que los de antes. En gráfico P-Q, a la derecha de dicho cuadro, se observa una clara tendencia de tipo 30-70, que supone una pérdida de variedad en el conjunto de productos, según ha sido expuesto.

En esta parte de la pantalla también hay una zona de fondo azul claro, para que el usuario pueda anotar observaciones (zona inferior izquierda). Puede comprobarse, en efecto, que en este espacio se han realizado anotaciones, tal como muestra la figura 28, en el sentido de lo que hemos comentado para el caso de nos ocupa.

Asimismo, la pantalla de la opción relativa al análisis P-Q expuesta dispone también de un botón para volver al menú principal, visualizado también en la citada figura 28.

## 5. Opción menú principal: OPERACIONES – GAMA FICTICIA

Toda vez que se han terminado las opciones relacionadas con la planificación de la producción, pasaremos al segundo grupo de opciones del menú principal (véase figura 22), el correspondiente al diseño de las líneas de producción mono o multiproducto que permitan obtener la producción que previamente haya sido planificada. El tipo de implantación más adecuado decidido con el análisis P-Q sería el utilizado aunque, según veremos a propósito de la última opción —la del diseño de las líneas y sus puestos de trabajo— solamente es provisional y podrá cambiarse o efectuar una simulación con los dos tipos de implantación y comparar los resultados.

Así pues, procederemos con el diseño de la línea o líneas, del tipo que corresponda, estableciendo procesos y sus operaciones, así como la secuencia de dichas operaciones, ya que los distintos productos a obtener en la línea pueden tener distintas secuencias. Esto último nos llevará a establecer la secuencia que cumpla mejor con las de todos los productos, mediante el método de la *gama ficticia*.

La figura 29, que expone la pantalla de esta opción, muestra, a la izquierda, el cuadro con las operaciones y la gama ficticia (cercada por una línea roja). Dicho cuadro, continúa con el caso que está sirviendo de ejemplo para la exposición del software, para un determinado proceso de dicho caso, el de ensamblaje del producto (cada proceso puede diseñarse de forma distinta), el cual trataremos de implementar en una línea multiproducto. En el cuadro, observamos en primer lugar las operaciones de este proceso para cada producto —tres en total, mostrados en la cabecera de las primeras columnas, aunque el software tiene espacio para cinco productos— identificadas por su número de orden y, a continuación, la *gama ficticia*, que será la secuencia a seguir para todos ellos, con la denominación de las operaciones que la componen.

En la citada figura 29, además, se resalta el hecho de que puede haber más productos con sus columnados, en total hasta cinco de ellos (resaltado con una línea de puntos a la derecha). Asimismo, puede haber más filas para operaciones, hasta completar 30 operaciones, como indica un rótulo anexo al cuadro (resaltado con una línea de puntos debajo de la tabla).

# DISEÑO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN MONO O MULTIPRODUCTO

Producto(s): DVD Player (varios modelos)

Proceso: Ensamblaje final

Tiempos: Segundos

Unidades/hora: 3.600

MENU

## OPERACIONES Y TIEMPOS POR PRODUCTOS – GAMA FICTICIA

SECUENCIA DE OPERACIONES DEL PROCESO			DESCRIPCIÓN OPERACIONES			Tiempos producto: E-100			Tiempos producto: E-100 UE			Tiempos producto: E-100 USA		
Gama ficticia por productos /modelos		Gama ficticia	Operacion (seg)	% defect.	Tiempo ciclo final	Operacion (seg)	% defect.	Tiempo ciclo final	Operacion (seg)	% defect.	Tiempo ciclo final	Operacion (seg)	% defect.	Tiempo ciclo final
E-100	E-100 USA		Trabajo	Máquina	y paros	Trabajo	Máquina	y paros	Trabajo	Máquina	y paros	Trabajo	Máquina	y paros
32	32	32	8		8,0	8		8,0	10		10,0	10		10,0
33	33	33	10		10,0	11		11,0	12		12,0	12		12,0
34	34	34	10	10,0%	11,0	10	10,0%	11,0	10	10,0%	11,0	10	10,0%	11,0
35	35	35	9		9,0	10		10,0	10		10,0	10		10,0
36	36	36	14		14,0	15		15,0	15		15,0	15		15,0
37	37	37	12	6,0%	10,6	12	6,0%	12,7	12	6,0%	12,7	12	6,0%	12,7
38	38	38	12	12,0%	13,4	15	12,0%	16,8	18	12,0%	20,2	18	12,0%	20,2
39	39	39	12	8,0%	13,0	12	8,0%	13,0	12	8,0%	13,0	12	8,0%	13,0
40	40	40	15		15,0	19		19,0	20		20,0	20		20,0
39	39	39		5,0%			5,0%		16	5,0%	16,8	16	5,0%	16,8
41	41	41	12	12,0%	13,4	12	12,0%	13,4	12	12,0%	13,4	12	12,0%	13,4
42	42	42	15	10,0%	16,5	15	10,0%	16,5	15	10,0%	16,5	15	10,0%	16,5
44	44	44							12		12,0	12		12,0
43	43	43	13		13,0	15		15,0	18		18,0	18		18,0
44	44	44	12		12,0	12		12,0	12		12,0	12		12,0
45	45	45	16	5,0%	16,8	18	5,0%	18,9						
46	46	46	12	10,0%	13,2	14	10,0%	15,4	15	10,0%	16,5	15	10,0%	16,5
45	45	45		4,0%			4,0%		25	4,0%	26,0	25	4,0%	26,0
47	47	47	28	5,0%	29,4	32	5,0%	33,6	35	5,0%	36,8	35	5,0%	36,8

← Treinta posibles operaciones

29. Operaciones y gama ficticia del proceso a diseñar

La *gama ficticia* se elaborará en formato de tabla vertical, introduciendo las operaciones por filas idénticas, lo que implica que, cuando no coincidan las operaciones de los tres productos en una misma fila, se deja(n) vacía(s) la(s) que se considere más oportuno. Esto ocurre, por ejemplo, con la operación 39 de la figura 29, coincidente en los dos primeros productos, pero no en el tercero, que se deja en blanco. Así pues, como en cada fila habrá los mismos códigos para los productos que lo tengan, éste será el código a incluir en la gama ficticia que, en nuestro caso, el programa lo muestra en una columna a la derecha, con el rótulo «gama ficticia»; en otra columna, a la derecha de la anterior, se introducirán las descripciones de las operaciones de dicha gama ficticia.

Luego, y en sendas tablas a la derecha (una para cada producto), el usuario introducirá los datos de tiempos de las operaciones de cada producto de la línea a diseñar, tanto por lo que se refiere a los tiempos de trabajo, como a los de máquina. Además, estos tiempos habrán de incluir la frecuencia de la operación, es decir, deberán estar referidos al tiempo de una unidad de producto acabado, en lugar al tiempo de la operación en sí. En el caso particular de la figura no se dan tiempos de máquina, porque se trata de un proceso de ensamblaje manual (aunque no importa demasiado, pues los que rigen el proceso son los de los trabajadores); en casos en que existan tiempos de máquina hay que entrarlos ya que el software también los procesa.

A continuación, encontrará una columna más para el trabajo y otra para las máquinas, para introducir un porcentaje de aumento de los anteriores tiempos, para obtener los **tiempos reales** con los que se operará. Este coeficiente habrá de incluir todo cuanto suponga una modificación del tiempo teórico inicial (tiempos NVA, defectos, transportes, preparaciones, etc.).

En conjunto, podemos observar que esta pantalla es muy importante para el usuario, ya que contiene una gran cantidad de entradas a efectuar él mismo; puede decirse que aquí se carga la mayor cantidad de datos del programa. Para regresar al menú principal se halla un botón situado en la parte superior derecha.

## 6. Opción menú principal: DISEÑO LINEA – CARGA-CAPACIDAD

Esta opción comienza a abordar el diseño de la línea, determinando la capacidad de producción de todas las operaciones definidas en la opción anterior del menú. Teniendo en cuenta las cargas de trabajo de los productos, se determina la relación:

$$\frac{\text{Carga}}{\text{capacidad}} \text{ que se conoce como Carga } \textit{unitaria}$$

Cuando la carga unitaria de una operación es igual a uno, la operación está saturada, pues su carga de trabajo se ajusta a su capacidad para operar y no puede aceptar más carga. Si es inferior a uno, tiene capacidad sobrante y puede abordar una carga mayor. Es pues evidente que hemos de tratar que las operaciones tengan una carga unitaria cercana a uno, pero sin sobrepasarlo. La figura 30 muestra la pantalla de esta opción.

**Seleccionar opción:**

- Entrada de datos
- Redistribución capacidades
- Menu principal

## DISEÑO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN MONO O MULTIPRODUCTO

Producto(s): DVD Player (varios modelo)

Proceso: Ensamblaje final

Tiempos: Segundos

Tiempo operativo diario (seg.): 28.800

Carga total diaria en la línea (uds.): 560

### Determinación de las cargas y capacidades por productos

Operación (Gama ficticia)	Producto: E-100			Producto: E-100 UE			Producto: E-100 USA		
	Carga diaria (unidades): 320	Capacidad	Carga Unitaria	Carga diaria (unidades): 160	Capacidad	Carga Unitaria	Carga diaria (unidades): 80	Capacidad	Carga Unitaria
	[ Carga prevista en nivelado producción: unidades ]			[ Carga prevista en nivelado producción: Diaria unidades ]			[ Carga prevista en nivelado producción: unidades ]		
	TIEMPO (seg)			TIEMPO (seg)			TIEMPO (seg)		
32	8,0	3.600,0	0,089	8,0	3.600,0	0,044	10,0	2.880,0	0,028
33	10,0	2.880,0	0,111	11,0	2.618,2	0,061	12,0	2.400,0	0,033
34	11,0	2.618,2	0,122	11,0	2.618,2	0,061	11,0	2.618,2	0,031
35	9,0	3.200,0	0,100	10,0	2.880,0	0,056	10,0	2.880,0	0,028
36	14,0	2.057,1	0,156	15,0	1.920,0	0,083	15,0	1.920,0	0,042
37	10,6	2.717,0	0,118	12,7	2.264,2	0,071	12,7	2.264,2	0,035
38	13,4	2.142,9	0,149	16,8	1.714,3	0,093	20,2	1.428,6	0,056
39	13,0	2.222,2	0,144	13,0	2.222,2	0,072			
40	15,0	1.920,0	0,167	19,0	1.515,8	0,106			
39							20,0	1.440,0	0,056
41	13,4	2.142,9	0,149	13,4	2.142,9	0,075	16,8	1.714,3	0,047
42	16,5	1.745,5	0,183	16,5	1.745,5	0,092	13,4	2.142,9	0,037
44							16,5	1.745,5	0,046
43	13,0	2.215,4	0,144	15,0	1.920,0	0,083	12,0	2.400,0	0,033
44	12,0	2.400,0	0,133	12,0	2.400,0	0,067	18,0	1.600,0	0,050
45	16,8	1.714,3	0,187	18,9	1.523,8	0,105			
46	13,2	2.181,8	0,147	15,4	1.870,1	0,086	16,5	1.745,5	0,046
45							26,0	1.107,7	0,072
47	29,4	979,6	0,327	33,6	857,1	0,187	36,8	783,7	0,102

Carga unitaria total por productos >>  
(a soportar cada línea monoproducto)

2,426

1,341

0,741

Carga unitaria total (entre todos los productos): 4,508

DECISIÓN: Línea multiproducto

(a soportar por una única línea multiproducto)

JUSTIFICACIÓN: Carga unitaria total (4,5 puestos) factible en multiproducto. En líneas separadas, demasiado pocos operadores para todo el montaje. Polivalencia requerida muy fuerte.

La transformación a una sola LINEA MULTIPRODUCTO se lleva a cabo mediante la metodología de «redistribución de capacidades», obteniéndose una carga equilibrada e igual número de operadores, para todos los productos.

\* Aplicada con la opción «Redistribución capacidades» del menú del margen izquierdo.

30. Determinación de las capacidades y cargas de trabajo por operaciones de la gama ficticia

En ella, el usuario ha de introducir el tiempo disponible para operar diariamente, en la misma unidad de medida que los tiempos de ciclo y, también, la carga unitaria de cada producto, es decir la producción planificada para cada uno (son tres en total aunque el software permite hasta cinco), todo ello, como siempre, en cedillas azules.

*¡Atención! Las cargas de cada producto podría haberlas provisto el propio programa, pues se determinaron en la primera opción del menú principal, la dedicada a la planificación. Si se pide al usuario entrar las cargas es para cubrir la posibilidad de cambiarlas o, incluso, de efectuar una simulación.*

A partir de ahí, el programa calcula la capacidad y la carga unitaria para cada operación (la línea de puntos indica que hay más líneas disponibles para operaciones) de la gama ficticia (visible en esta pantalla, en una columna a la izquierda) y, todo ello, para cada producto. Además, se calcula también la carga unitaria total que, en realidad, será el número de puestos de trabajo necesarios; en efecto, según se dijo, una carga unitaria superior a uno requiere más de un puesto de trabajo. Finalmente, el total de puestos necesarios será la suma de los puestos requeridos para cada producto, es decir, la suma de los anteriores: 4,508 en el caso de la figura 30.

El usuario tan sólo debe decidir entonces, si procede diseñar varias líneas monoproducción o una sola línea multiproducción (con el total de puestos de todas ellas): así, si se requiere que un solo puesto o muy pocos deban ejecutar todo el proceso, posiblemente sea más conveniente una línea multiproducción, cuyo total de puestos sea la suma de los de cada producto. La decisión que se tome y su justificación se escribe en un espacio a propósito, en la parte baja derecha de la pantalla, como siempre, en color azul.

Debajo del todo, en el cuadro de la figura 30, se observa el rótulo que sigue:

La **transformación a una sola LINEA MULTIPRODUCTO** se lleva a cabo mediante la metodología de «redistribución de capacidades» \*, obteniéndose una carga equilibrada e igual número de operadores, para todos los productos.  
\* Aplicada con la opción «Redistribución capacidades» del menú del margen izquierdo.

Es decir, para efectuar la producción en una única línea multiproducción, es preciso plantearlo en ella con el total de operadores de todos los productos (los 4,508 ya citados, que habrá que redondear a 5), dedicados a producir todos los productos, y no uno solo, terminando en el mismo momento que con varias líneas monoproducción.

Para llevar a cabo esta conversión, el software aplica un algoritmo denominado *redistribución de capacidades*, desarrollado por el autor de este software, el cual se efectúa sin que el usuario deba intervenir en absoluto. Aun así, mediante el menú situado en el margen izquierdo de la pantalla de la figura 30, con la opción «Redistribución de capacidades» se tiene acceso a los cálculos con dicho algoritmo; la otra opción, denominada «Entrada de datos» nos sitúa en la pantalla de la figura 30.

La figura 31 muestra la pantalla correspondiente a la ejecución del algoritmo «redistribución de capacidades». Las líneas de puntos horizontales indican, como siempre, que se dispone de más líneas si se precisan y, las verticales, que se dispone de más líneas en cada cuadro para el caso de que haya más productos. Finalmente, dicho menú del margen izquierdo tiene la opción de volver al menú principal.

**Seleccionar opción:**

- Entrada de datos
- Redistribución capacidades
- MENU PRINCIPAL

**Método de Redistribución de Capacidades (equilibrado)**

**FACTOR BASE POR PRODUCTO**

OPERACIONES	Producto: E-100		Producto: E-100 UE		Producto: E-100 USA	
	Capacidad	1/ Capacidad	Capacidad	1/ Capacidad	Capacidad	1/ Capacidad
32	3.600,0	0,00028	3.600,0	0,00028	2.880,0	0,00035
33	2.880,0	0,00035	2.618,2	0,00038	2.400,0	0,00042
34	2.618,2	0,00038	2.618,2	0,00038	2.618,2	0,00038
35	3.200,0	0,00031	2.880,0	0,00035	2.880,0	0,00035
36	2.057,1	0,00049	1.920,0	0,00052	1.920,0	0,00052
37	2.717,0	0,00037	2.284,2	0,00044	2.284,2	0,00044
38	2.142,9	0,00047	1.743,0	0,00058	1.428,6	0,00070
39	2.222,2	0,00045	2.222,2	0,00045		
40	1.920,0	0,00052	1.515,8	0,00066	1.440,0	0,00069
39					1.714,3	0,00058
41	2.142,9	0,00047	2.142,9	0,00047	2.142,9	0,00047
42	1.745,5	0,00057	1.745,5	0,00057	1.745,5	0,00057
44					2.400,0	0,00042
43	2.215,4	0,00045	1.920,0	0,00052	1.600,0	0,00063
44	2.400,0	0,00042	2.400,0	0,00042		
45	1.714,3	0,00058	1.523,8	0,00066		
46	2.181,8	0,00046	1.870,1	0,00053	1.745,5	0,00057
45					1.107,7	0,00090
47	978,6	0,00102	857,1	0,00117	783,7	0,00128

SUMA: $\sum (NCP) =$	0,00758	0,00838	0,00927
CARGA TOTAL: CT =	4.508	4.508	4.508
Factor base: FB= CT / $\sum (1/Cp)$	594,62	538,00	486,49

**CARGAS TEÓRICAS RESULTANTES POR MODELOS**

OPERACIONES	Producto: E-100		Producto: E-100 UE		Producto: E-100 USA	
	1/ Capacidad	lueva carga unit.	1/ Capacidad	Nueva carga unit.	1/ Capacidad	lueva carga unit.
32	0,00028	0,16877	0,00028	0,14044	0,00035	0,16882
33	0,00035	0,20647	0,00038	0,20549	0,00042	0,20270
34	0,00038	0,22711	0,00038	0,20549	0,00038	0,16881
35	0,00031	0,16880	0,00035	0,16880	0,00035	0,16882
36	0,00049	0,28065	0,00052	0,28021	0,00052	0,25339
37	0,00037	0,21685	0,00044	0,23782	0,00044	0,21487
38	0,00047	0,27749	0,00058	0,31983	0,00070	0,34054
39	0,00045	0,26759	0,00045	0,24210		
40	0,00052	0,30970	0,00066	0,35463	0,00069	0,33784
39					0,00058	0,28379
41	0,00047	0,27749	0,00047	0,25107	0,00047	0,22703
42	0,00057	0,34067	0,00057	0,30823	0,00057	0,27872
44					0,00042	0,20270
43	0,00045	0,28841	0,00052	0,28021	0,00053	0,30406
44	0,00042	0,24776	0,00042	0,24117		
45	0,00058	0,34686	0,00066	0,35006		
46	0,00046	0,27253	0,00053	0,28768	0,00057	0,27872
45					0,00090	0,43919
47	0,00102	0,68701	0,00117	0,62786	0,00128	0,62078

NUEVA CARGA TOTAL / producto:	$\sum FB \cdot (1/Cp) =$	4.508	4.508	4.508
-------------------------------	--------------------------	-------	-------	-------

Nueva carga unitaria total (suma de nuevas cargas unitarias):  $CU = \sum FB \cdot (1/Cp) = FB \cdot \sum (1/Cp) >>$  (según tabla anterior) = CT

Figura 31. Aplicación del algoritmo de redistribución de capacidades a la matriz de cargas por puestos

Así pues, de elegir la opción de línea multiproducto, las capacidades de cada operación en cada producto cambian (aumentando) y, como consecuencia, el tiempo de ejecución del lote a producir, lógicamente, se reducen. De todos modos, si tuviéramos un solo producto, para diseñar para él una línea monoproducción, el programa informático también podría aplicarse, ya que el algoritmo de redistribución de capacidades no se aplicaría.

El diseño de la línea multiproducto, continua pues, con la determinación de las cargas unitarias del diseño a efectuar mediante el citado algoritmo, visible en la pantalla del programa informático, aunque sin intervención alguna por parte del usuario. Así pues y por el interés que puede tener para el lector de este manual, la figura 31 muestra la tabla oculta en la que se han elaborado las nuevas cargas unitarias y se observa que la suma de las mismas, para todos los productos, da siempre el mismo total: 4,51 (penúltima línea del cuadro situado a la izquierda), es decir la carga unitaria que teníamos antes de aplicar el método, como había de ser.

Así pues, todos los productos se procesarán con el mismo equipo de operadores que, a su vez, es el total de los que requerían todos los productos. Ahora nos queda determinar, cuanto tiempo habrá de trabajar cada uno de ellos.

## 7. Opción menú principal: TIEMPOS OPERATIVA MULTIPRODUCTO.

La siguiente opción del menú principal es, pues, la dedicada a la determinación de los tiempos de producción, producto a producto. La pantalla correspondiente a esta opción es la que muestra la figura 32.

En ella, el programa calcula automáticamente y sin intervención del usuario, el tiempo que la línea multiproducto deberá dedicar a cada uno de los productos. El cálculo se realiza, como es natural, en función de la fracción de carga unitaria de cada producto respecto a la carga unitaria total de todos ellos.

Como puede observarse también, además del tiempo de producción de cada producto, la tabla muestra la capacidad de producción diaria de cada uno de ellos y la producción real finalmente lograda, de modo que podamos comprobar que, efectivamente, se obtiene la que se había planificado, que figuraba como una entrada de usuario en la figura 30.

Por lo demás, en esta pantalla, el usuario no tiene nada que hacer y, si no fuera por el interés de esta información, podría haberse ocultado.

Asimismo, para regresar al menú principal la pantalla dispone de un botón situado en la parte inferior izquierda, lo mismo que ha ocurrido con otras opciones del menú.

## PRODUCCIÓN MULTIPRODUCTO - TIEMPO DE LA OPERATIVA DE CADA PRODUCTO

Las líneas multiproducto operan un tiempo, distinto a determinar, con cada producto. Las líneas monoproducción operan toda la jornada con el mismo producto.

**Producto(s):** DVD Player (varios modelos)

**Proceso:** Ensamblaje final

Tiempo operativo diario (seg.): 28.800  
Carga total diaria en la línea (uds.): 560

**Tiempos:** Segundos  
*Unidades / hora:* 3.600

### Determinación del tiempo de proceso para cada producto

CALCULO DE TIEMPOS Y DE PRODUCCIONES POR MODELOS					
Producto	Carga unitaria (teórica)	% Carga Total	TIEMPO Producción diario (min.)	CAPACIDAD de producción diaria	PRODUCCION diaria real
E-100	2,426	53,82%	258	594,62	320
E-100 UE	1,341	29,74%	143	538,00	160
E-100 USA	0,741	16,44%	79	486,49	80
<b>Totales »</b>	<b>4,508</b>	<b>100,00%</b>	<b>480</b> (28800 seg.)	<b>1619,11</b>	<b>560</b>

**MENU**

### 32. Determinación de los tiempos de operación por productos

## 8. Opción menú principal: DISEÑO DE LA LÍNEA Y SUS PUESTOS.

En esta opción se procederá, finalmente, a diseñar la línea multiproducto (o monoproducción, si procediera, pues ya se ha dicho que, de ser el caso, no habría problema para diseñarla). Para ello se determinarán los puestos de trabajo y las tareas que llevará a cabo cada uno, siempre de acuerdo con los parámetros que ya se han determinado: número total de puestos y tiempo que trabajarán. En esta opción el papel del usuario será muy importante, ya que será él quien diseñe la línea, teniendo en cuenta que no hay una única solución, por lo que podrá simular situaciones o escenarios en los que se desenvuelva el diseño. El programa informático se limitará a informarle del cumplimiento de aspectos importantes, como lo son los parámetros a los que hemos hecho mención más arriba, además de otros aspectos a tener en cuenta.

Dado que la actuación del usuario es importante, el programa muestra, brevemente, las instrucciones que ha de seguir, en el encabezamiento de la pantalla (figura 33).

**Diseño de los puestos de un producto en el recuadro del producto:** en columna *Puesto agrupado*, casilla 1ª operación, introducir el número del puesto (1, 2, etc.). En columna *Operarios /puesto*: cantidad de ellos en el puesto. En columna *Carga puesto* aparecerá la carga unitaria del puesto, que no debe sobrepasar la unidad: si lo hace, asignar la operación al puesto siguiente (i.e. el 2, una vez agotado el 1).  
*Cargas unitarias de máquina:* los datos se llenan solos y también son correctos si ninguna carga unitaria supera al 1.

### 33. Instrucciones abreviadas para la opción de diseño de procesos y sus puestos

En dicho encabezamiento, además, se puede identificar el tipo de línea a diseñar (multiproducto o monoproducción) por medio de un control tipo *switch* que se halla en la parte superior derecha de la pantalla. La figura 34 muestra dicho control en la posición que permite diseñar una línea multiproducto. Cuando dicho control se halla en la posición monoproducción, indica cuantas líneas monoproducción deberían diseñarse de modo que, posteriormente, la pantalla se hallará dispuesta para diseñarlas por separado, cambiando de forma automática todos los valores de la carga unitaria de las operaciones.

Como puede observarse en la misma figura 34, a la derecha de este control se dispone de un botón para volver al menú principal.



34. Control tipo *switch* para cambiar de multiproducto a monoproducción

Junto a los detalles expuestos a propósito del encabezamiento de la pantalla de esta opción del menú principal, la figura 35 muestra la citada pantalla completa (aunque en lugar de los tres cuadros, uno para cada producto, puede contener hasta cinco de ellos). En ella se aprecia que, en el encabezamiento, figuran, ante todo, el producto y el proceso a diseñar, además el control *switch* y las instrucciones abreviadas acerca del uso de esta pantalla, ambas cosas ya comentadas y representadas en sendas figuras. En cuanto al contenido principal de la pantalla, donde se realiza el diseño de las líneas de producción, abarca varios columnados, uno para cada producto de la línea multiproducto — que en la figura son los tres del caso que ha sido objeto de las opciones anteriores, con sus pantallas—, aunque ya sabemos que el software tiene capacidad para procesar líneas con cinco tipos de producto (cuyos cuadros aparecerían automáticamente en la figura).

Más allá del encabezamiento, la pantalla de esta opción del menú principal provee la identificación de las operaciones en la secuencia de la gama ficticia, en una columna a la izquierda, a continuación de la cual se encuentran los tres columnados citados, uno para cada producto. En cada uno de ellos se identifica, en la parte superior, el tipo o variante de producto y, luego, en columnas sucesivas:

- La carga unitaria de cada operación de la gama ficticia, tal como se ha obtenido con el algoritmo de redistribución de capacidades.
- La columna denominada «Puesto agrupado», en la que se deberá introducir el código del puesto en que se llevará a cabo la operación.
- El número de trabajadores para el puesto en cuestión.
- La carga unitaria del puesto, con las operaciones que se le hayan asignado en total, en la columna puesto agrupado.



- La carga unitaria de la(s) máquina(s) que actúan en la operación, que se calcula automáticamente con los datos entrados para el trabajador que opera con ella.
- La carga unitaria de la(s) máquina(s) existentes en total, en el puesto agrupado, calculado también de forma automática.

Con esta disposición, diseño de los puestos, es una tarea fácil, pero muy flexible, ya que tiene muchas posibilidades, con el fin de lograr el mejor diseño.

El usuario ha de introducir, en la primera operación, el código del primer puesto agrupado (normalmente será el 1) y, en la columna siguiente, el número de operadores en este puesto (normalmente se inicia con 1). La columna que sigue, mostrará la carga unitaria del puesto; como sabemos, el ideal es que dicha carga sea 1 o muy poco por debajo. Mientras la carga se halle por debajo de 1, puede introducirse el mismo código de puesto agrupado a la operación siguiente, con lo que su carga unitaria aumentará y, continuar así hasta que la carga unitaria sobrepase el valor 1.

Cuando esto suceda se tienen dos alternativas:

- Evitarlo asignando al puesto agrupado un nuevo código (por ejemplo, 2 si el puesto con el que se operaba era el 1), con lo que la operación se asignará al nuevo puesto.
- Poner un operador más en el puesto; por ejemplo, si el número de operadores de la columna tercera del producto era 1, ahora pueden ponerse 2, que se repartirán la carga y, con ello, la carga unitaria del puesto se reducirá.

Continuando así hasta agotar las operaciones, se completará el diseño del proceso, para el tipo de producto actual. El número total de operadores, figura en la parte inferior de la columna correspondiente, y debería ajustarse al que se había calculado como número total de la línea, a mantener fijo (en nuestro caso era 4,51, que se redondeaba a 5, como realmente ocurre con el diseño efectuado).

Las columnas restantes del cuadro, referidas a los tiempos de máquina, también tienen una columna para la carga unitaria de cada operación y otra para la del puesto agrupado, que se llenan automáticamente, habida cuenta de los datos entrados para las mismas operaciones del trabajador. También aquí la carga del puesto debe mantenerse inferior a o igual a uno. De no ser así, aunque ello se cumpla para el tiempo del trabajador, también debería iniciarse otro puesto o jugar con el número de trabajadores en el puesto, hasta que las dos cargas unitarias (trabajador y máquina), no superen la unidad. En el caso de la figura no hay datos para las máquinas, dado que se trata de un montaje, que se lleva a cabo manualmente.

Debajo de la tabla en la que se ha realizado el diseño están los datos de los totales: *carga unitaria* total, número de *puestos de trabajo*, número de *operadores* utilizados entre todos los puestos e *infrautilización*. La carga unitaria es la misma para todos los cuadros de cada producto (es la utilizada en cada producto en una línea multiproducto), lo mismo que el número de operadores, valor que se corresponde con el redondeo al entero superior de dicha carga unitaria. La diferencia con la carga unitaria real es la *infrautilización*.

De la misma manera que con el primero, se procede al diseño de los demás tipos de producto de la línea, pero ahora habría que tener cuidado en el caso de una sola línea multiproducto, de forma que al cambiar el producto, se asignen operaciones lo más similares posible a un mismo puesto de trabajo, ya que, de este modo, éste no habrá de cambiar mucho las tareas que ha de llevar a cabo, cada vez que cambie el producto. Por ello, en la pantalla de esta opción del menú se ha dispuesto, en la parte baja, una recopilación de las tareas de cada puesto con cada producto, de manera que se pueda apreciar hasta qué punto no han variado, tal como se muestra en la misma figura 35.

En el caso utilizado como ejemplo para mostrar la operativa con este software, se aprecia que el segundo puesto tiene una tarea menos —la 44— en el tercer producto en relación al primer y segundo producto. Además, hay algún cambio de orden de tareas, ya que el citado segundo puesto, realiza las tareas en un orden diferente para el tercer producto que para los otros dos.

Así pues, se ha logrado que los cambios sean muy pequeños y presentes tan solo en algún puesto o en algún producto, lo que facilita la tarea al trabajador con los cambios de producto en cada puesto de la línea multiproducto.

Naturalmente, aunque no hay fuertes variaciones en las tareas asignadas a un mismo trabajador, se puede reajustar el diseño, tantas veces como sea necesario, utilizando el software como simulador, para que se facilite la labor de los operadores.

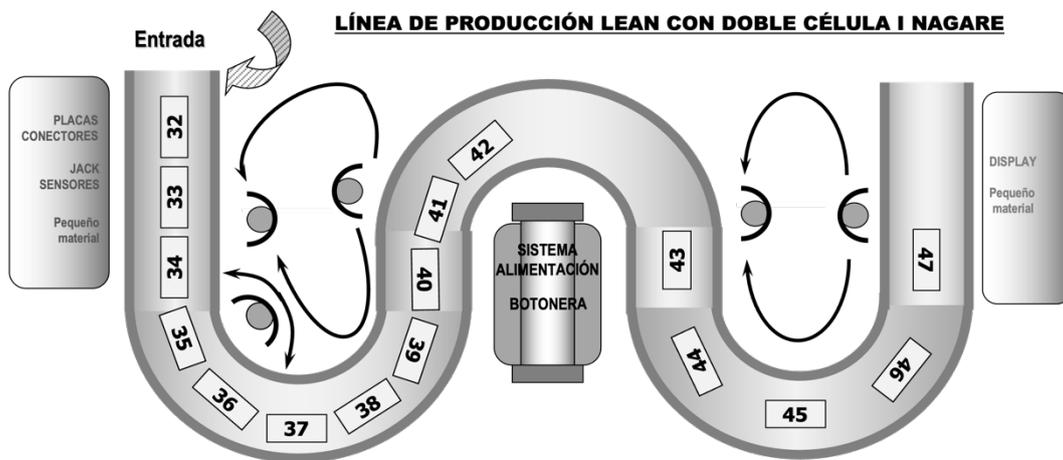
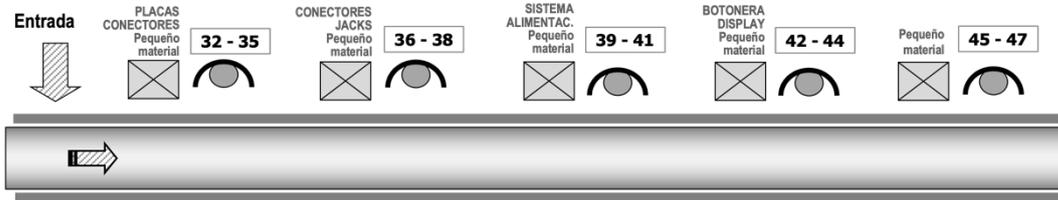
## Un software que permite el diseño de líneas tradicional y Lean

La pantalla de la última opción del menú principal —diseño de la línea y sus puestos— en la que, finalmente, se lleva a cabo el diseño de la línea de producción y cada uno de los puestos que la forman, está diseñada para poder realizar líneas de corte tradicional y líneas ajustadas al Lean Manufacturing, todo ello además de que con el control *switch* pueden diseñarse varias líneas monoproducción o una multiproducto con los mismos datos. La figura 36 recoge un ejemplo de ambos diseños para el caso utilizado (un montaje) con este programa y sus opciones en el menú principal.

El diseño tradicional —diseño de la parte superior de la figura 36— es una línea de producción (en este caso, una cadena de montaje) recta con cinco puestos de trabajo independientes distribuidos a lo largo de dicha línea, los cuales se reparten las operaciones del proceso —las cuales figuran a la izquierda de la pantalla de la figura 35— integradas en una secuencia constituida por la gama ficticia del proceso (secuencia que se puede adaptar a la de cada producto sin que en ningún caso el producto haya de retroceder).

Por el contrario, el diseño Lean Manufacturing está integrado por puestos de trabajo que constituyen células flexibles con varios trabajadores operando en Nagare. Constituye el diseño de la parte inferior de la citada figura 36. Este caso es el que se ha resuelto con el software desarrollado en esta guía, tal y como se ha efectuado con la última opción del menú principal. En él puede apreciarse que cada puesto (en este caso solamente dos) dispone de varios operadores en lugar de uno solo.

### LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MONTAJE TRADICIONAL CON PUESTOS INDEPENDIENTES



36. Diseño de línea de montaje factible en el Soft en modo tradicional y Lean manufacturing

Como se ha expuesto, el diseño Lean es, pues, el que en el software se ha desarrollado en la figura 35 de este manual ¿Cuál sería pues, el diseño tradicional tal y como se realizaría con el mismo software. La figura 37 tiene la respuesta.

En la misma pantalla, la correspondiente a la última opción del menú principal, se podría realizar este diseño que, como ilustra la figura 37, se llevaría a cabo sin más que agrupar las tareas que podría realizar cada puesto de trabajo disponiendo de un solo trabajador en cada caso. Es lo que muestra el diseño tradicional de la figura 36 y es lo que se puede comprobar en la columna *Operarios / puesto* de la citada figura 37.

Obsérvese, sin embargo, que el último puesto de la pantalla de la figura 37 tendría una carga unitaria que excedería de la unidad (1,23 exactamente). Ya sabemos que ello obligaría a disponer un nuevo trabajador para absorber este exceso y, por tanto, no podría realizarse con los cinco previstos como necesarios ¿por qué ocurre esto? El motivo es que ahora tenemos hasta cinco puestos que, por no tener un exceso de carga unitaria, tienen déficit y, con tanto déficit, no ha podido construirse la línea con tantos puestos independientes. Con los dos puestos multioperador de la pantalla de la figura 35, solo tenemos dos puestos con déficit, que puede absorberse con el sobrante de disponer de 5 puestos en lugar de los 4,51 que exige la carga unitaria total del proceso.

