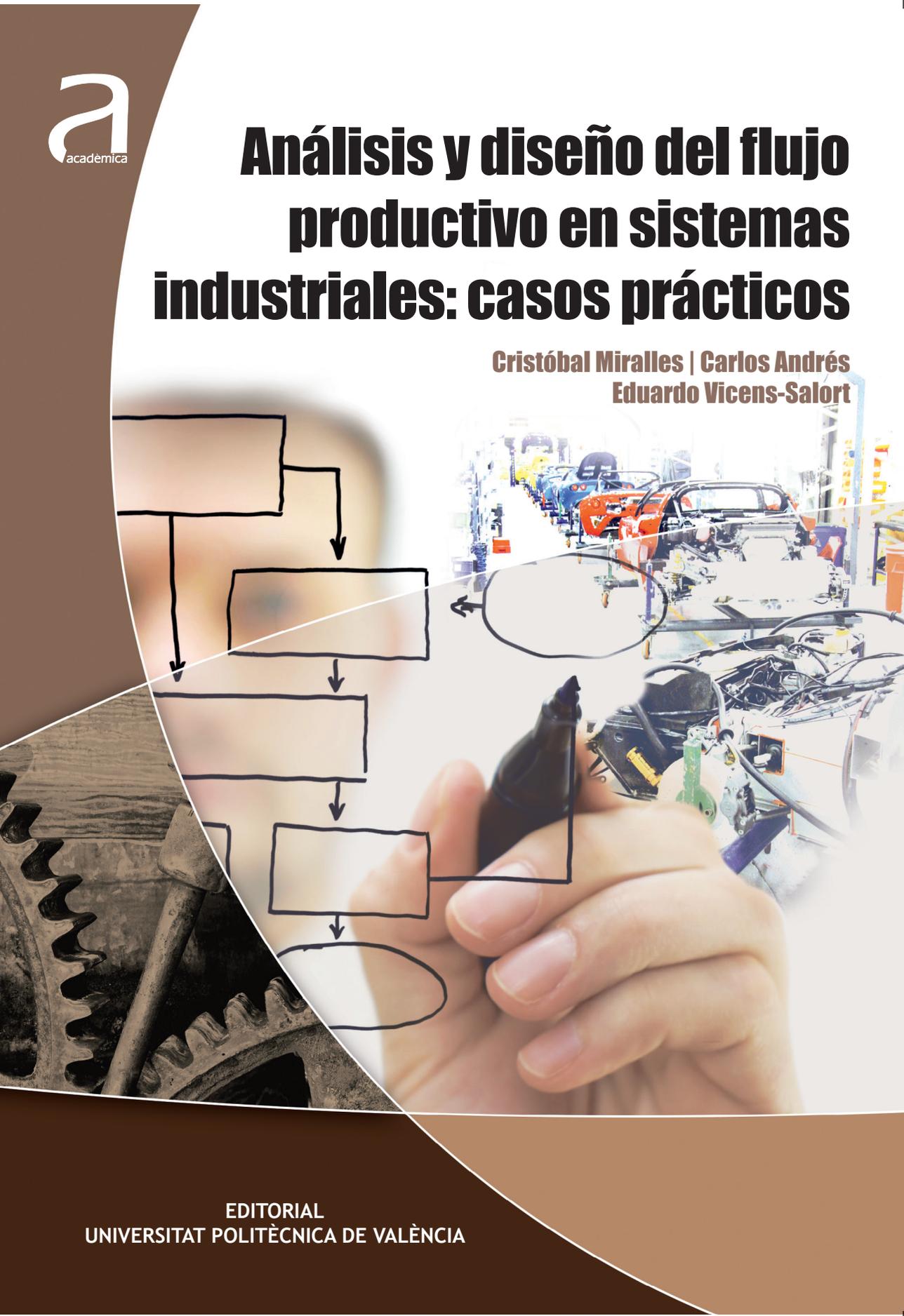


# Análisis y diseño del flujo productivo en sistemas industriales: casos prácticos

**Cristóbal Miralles | Carlos Andrés  
Eduardo Vicens-Salort**



Cristobal Miralles Insa  
Carlos Andrés Romano  
Eduardo de Vicens Salort

# **Análisis y diseño del flujo productivo en sistemas industriales**

**casos prácticos**

EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Colección Académica

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Departamento de Organización de Empresas de la Universitat Politècnica de València

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: MIRALLES INSA, C., ANDRÉS ROMANO, C. y VICENS SALORT, E. (2016). *Análisis y diseño del flujo productivo en sistemas industriales: casos prácticos*. Valencia: Universitat Politècnica de València

© Cristóbal Miralles Insa  
Carlos Andrés Romano  
Eduardo Vicens Salort

© 2016, Editorial Universitat Politècnica de València  
*distribución*: Telf.: 963 877 012 / [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 0546\_04\_01\_01

Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-546-0  
Impreso bajo demanda

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo [edicion@editorial.upv.es](mailto:edicion@editorial.upv.es).

Impreso en España

# ÍNDICE

Prólogo.....	5
CASO 1: IMPORTAÇÃO .....	7
CASO 2: ACECOL.....	17
CASO 3: DULCES ROLOS .....	31
CASO 4: FÁBRICA ABC .....	39
CASO 5: PINTUREL .....	49
CASO 6: VINOS FERATU .....	59
CASO 7: MULTIPLEX .....	71
CASO 8: CHASISPLUS.....	79
CASO 9: CARRUSEL.....	91
CASO 10: QUESOS CURADOS (PRIMERA PARTE) .....	97
CASO 11: QUESOS CURADOS (SEGUNDA PARTE).....	103
CASO 12: ELECTRODOMÉSTICOS USADOS.....	109
CASO 13: MOTOSIERRAS TEXAS.....	117
CASO 14: SUBPLANTA EN GRAN EMPRESA .....	127
CASO 15: LÍNEAS DE MONTAJE.....	139
CASO 16: CÉLULA DE FABRICACIÓN.....	147
CASO 17: FABRICACIÓN DE SILLAS .....	155
CASO 18: ESCALERAS DE ALUMINIO.....	167
Bibliografía .....	183



# PRÓLOGO

Este libro constituye un compendio de casos de estudio donde se aplican conceptos básicos, y también avanzados, de control de tiempos y de (re)diseño del flujo productivo en sistemas industriales en línea. En su mayoría son casos inspirados en empresas reales que los autores han tenido la oportunidad de conocer tanto en la región valenciana como en otros ámbitos más internacionales.

Por un lado, para la definición y control de los tiempos de producción, se emplean las tres técnicas clásicas de definición de tiempos estándares (Kanawaty, 1996): el estudio de tiempos, el muestreo estadístico y uno de los sistemas de tiempos predeterminados más habituales (en concreto *MTM-2*). A lo largo de los distintos casos se ilustran ejemplos de situaciones donde una u otra técnica es más conveniente; o donde es necesario combinar varias para conseguir una información completa y coherente. Cabe señalar también que, en general, cuando se proporcionan datos de cronometraje, siempre se presupone la escala británica (centesimal) de valoración del *Ritmo 100*, por lo que aquellos tiempos básicos que, eventualmente, son calculados con *MTM-2*, deben mino- rarse debidamente a la hora de calcular el tiempo estándar de un proceso (Kanawaty, 1996). En cada caso estudiado se precisa cuándo procede y por qué dicha minoración. Por último, en cuanto a los suplementos de descanso, cabe señalar que en todos los casos se aplica un 5% recomendado para el *Suplemento de Necesidades Personales* (SNP) pero, para el *Suplemento de Fatiga* (SF), en cada caso se indica qué porcentaje genérico adicionar a cada elemento o, en su caso, a la totalidad del ciclo de trabajo (aunque obviamente en la realidad se debería calcular evaluando aditivamente cada factor de riesgo).

Por otro lado, para el (re)diseño, (re)dimensionamiento y/o mejora de las configuracio- nes productivas estudiadas, son necesarias herramientas de contraste de la situación actual respecto a la potencial situación mejorada que se propone (o que se pide propo- ner) en cada caso. Para ello, se emplean básicamente dos conjuntos de parámetros que se calculan complementaria o alternativamente según convenga: el *Tiempo de Ciclo* (TC) y la *Capacidad de Producción* (Cap), y el *Work Estándar* (WS) y sus elementos y la *Productividad* (P) (Vicens-Salort, Andrés y Miralles (2010); Vicens-Salort (2011)). Dichos parámetros se emplean para tener un control tanto de puestos únicos, como de sistemas completos conformados a su vez por otros, y que pueden estar en línea o en paralelo. Bajo esta visión sistémica cabe también un análisis más pormenorizado de cada subsistema donde, frecuentemente, se analiza la posibilidad de multiasignación de máquinas a los operarios, según lo permita o no su tiempo intra-estación disponible o *Demora de Proceso* (DP) al evaluar el *Tiempo de ciclo de la batería* (TCbat). Asimismo, en algunos casos se explicita que ciertas máquinas no pueden esperar a ser atendi- das cuando acaba su ciclo, debiéndose evitar su tiempo ocioso o *Interferencia* entre

máquinas (I). En todo caso, sea con o sin multiasignación interna, al definir el TC para cada uno de los subsistemas en línea, se acaba pudiendo establecer qué estación es el cuello de botella del sistema global y, por tanto, provoca tiempos de espera o *Demora Inherente* (DI) en las demás estaciones (Vicens-Salort, Andrés y Miralles, 2015).

El lector podrá apreciar que al emplear tanto las técnicas de control de tiempos como las estrategias de (re)diseño de sistemas productivos mencionadas, hay dos tipos de casos de estudio que se combinan de manera intermitente. Por un lado, los que establecen una demanda deseada de producto final, dato que supone la referencia obligada para dimensionar adecuadamente cada etapa productiva. Y por otro lado, los que proporcionan datos de la configuración de partida e invitan a calcular (y luego mejorar) la producción que se obtiene (o se obtendría). Sea en uno u otro caso, el análisis completo de la configuración productiva siempre acaba permitiendo un proceso final creativo de propuestas para equilibrar el sistema; sea disponiendo más recursos en el cuello de botella, sea intentando fórmulas colaborativas entre estaciones, o ambas.

Por último señalar que las cuestiones planteadas en cada caso incluyen cálculos y dudas recurrentes que suelen plantearse a los gerentes de producción y que, mediante herramientas y planteamientos relativamente sencillos, permiten dimensionar adecuadamente sistemas complejos y anticipar el comportamiento potencial de las posibles mejoras a implantar. Confiamos por ello en que el material de este libro sea de ayuda al lector, y además le permita profundizar en su conocimiento de los sistemas productivos.

# CASO 1: IMPORTAÇÃO

Importação es una empresa brasileña que importa desde Porto Alegre madera con sello de calidad ecológico (sello que presupone una tala y reforestación controladas), con que luego provee a fabricantes de mesas valencianos. Importação receptiona un contenedor en el puerto de Valencia y desde allí lo transporta a sus instalaciones donde la madera sigue los procesos: limpieza, corte de tableros y patas, tratamiento anti-termitas/plastificado y paletizado y ubicación de palets en muelle de expedición.

Cada día Importação debe cubrir una demanda de 2.500 tableros y 10.000 patas (hay un turno único de 7 horas) y para ello se deben dimensionar adecuadamente los recursos necesarios para cada proceso:

**LIMPIEZA:** los troncos miden 6 metros y dos operarios van tomando cada tronco y colocándolo al inicio de una cinta transportadora de 30 metros de longitud que los hace pasar por un túnel automático de limpieza (donde primero se humedecen, y luego se les quita la piel).

**1) ¿Cuál debe ser el tiempo máximo de colocación de tronco en inicio de cinta por parte de los operarios?**

Si la velocidad de la cinta es regulable,

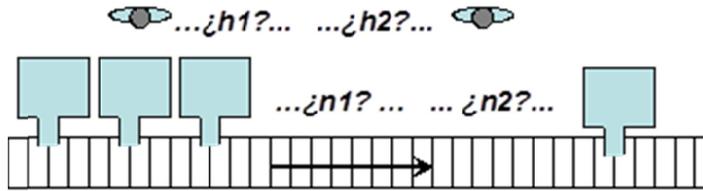
**2) ¿Podría ésta convertirse en cuello de botella?**

**3) Ajustando la cinta ¿por debajo de qué velocidad?**

**CORTE:** el corte de tableros y patas se realiza en máquinas donde por un lado el operario emplea un tiempo (MP) de 2,5 min en trasladar y ajustar bien el tronco (ayudándose de un sistema neumático) y poner en marcha la máquina. Una vez puesta en marcha, por el otro lado de la máquina van saliendo ya cortados los tableros o patas que van cayendo a una cinta de rodillos hasta que se termina el tronco.

Cada una de las máquinas es versátil y puede fabricar tableros o patas según necesidades, de modo que:

- Si se ajusta para tableros: de cada tronco salen 22 tableros, saliendo un tablero cortado cada 0,5 min
- Si se ajusta para patas: de cada tronco se obtienen 70 patas, saliendo 10 patas cortadas cada minuto.



Sabiendo que no puede haber interferencias en las máquinas y que se debe minimizar el n.º de máquinas y de operarios atendiéndolas.

4) **Número  $n_1$  de máquinas corta-tableros y el n.º de operarios  $h_1$  necesarios para atenderlas.**

5) **Número  $n_2$  de máquinas corta-patas y el n.º de operarios  $h_2$  necesarios para atenderlas.**

Sabiendo que en esta estación el coste horario de la maquina es de  $K_m=15\text{€}/\text{h}$  y el coste horario de operario es de  $K_{op}=10\text{€}/\text{h}$ .

6) **Calcular el coste por tablero que sale de esta sección.**

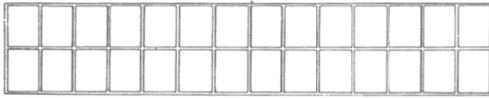
PALETIZADO: conforme van saliendo de la cinta de rodillos anterior los tableros y patas sufren el tratamiento anti-termitas, plastificado y paletizado en palets especiales de 1100x800x500 mm (largo x ancho x alto). Los tiempos de operación para cada sub-proceso a realizar son:

	tratamiento anti-termitas	plastificado	paletizado
Palet de 40 Tableros	10,5 min	6 min	3 min
Palet de 90 Patas	6 min	No se realiza	1 min

Sabiendo que estos subprocesos son manuales, calcular:

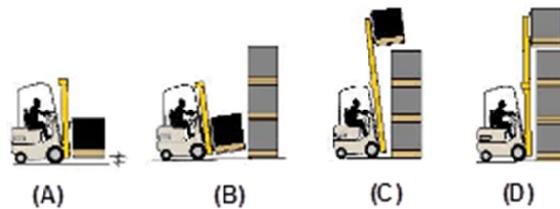
7) **¿Cuántos operarios son necesarios en esta sección?**

EXPEDICIÓN: los palets se apilan a cuatro alturas dentro de contenedores como el de las figuras de 12,6 x 2,4 x 2,9 m (largo x ancho x alto).



Para cada palet el ciclo de apilado supone las siguientes operaciones:

- A. Maniobrar la carga abajo (10 seg)
- B. Circular en horizontal llevando el mástil inclinado hasta situar la carretilla frente al lugar previsto y en posición.
- C. Movimiento vertical de la carga.
- D. Maniobrar la carga arriba (15 seg)



Con estos datos ya sólo faltaría la operación de vuelta en vacío a posición inicial.

Por otro lado se van a emplear carretillas con pilas de hidrógeno, de tecnología mucho más limpia medioambientalmente. La web de estas novedosas carretillas dice que son un medio muy eficiente y que en prueba piloto una de estas carretillas trabajó durante 90 días 16 horas al día, repostando solo 137 veces, y empleándose un tiempo de quince minutos por cada repostaje.

Suponiendo que la distancia en horizontal promedio desde la puerta del camión hasta la zona de paletizado a ras de suelo donde se toman los palets es de 120 metros, y sabiendo las velocidades que vienen dadas en la siguiente tabla:

Velocidades (m/s)	CON carga	SIN carga
En horizontal	2,12	2,92
Elevación	0,3	0,5
Descenso	0,5	0,4

**8) ¿Cuál será el tiempo de ciclo promedio de apilado?**

**9) ¿Qué n.º mínimo de carretilleros serán necesarios?**

De poder formar operarios *multiskill* en los dos tipos de máquina (n1 y n2),

**10) ¿Se puede emplear menos operarios en el proceso 2? ¿Cómo quedaría su asignación?**

*Nota: todos los tiempos proporcionados han sido debidamente suplementados por lo que se pueden tomar como tiempos estándar.*

## SOLUCIÓN CASO 1: IMPORTAÇÃO

**Apartado 1.** En el enunciado se dice que si se ajusta para tableros de cada tronco, salen 22 tableros y, en cambio, si se ajusta para patas de cada tronco se obtienen 70 patas.

Tenemos que los troncos necesarios por día son:

$$\frac{2500tab}{22} = 113,6 \rightarrow 114 \text{ troncos}$$

$$\frac{10000tab}{70} = 142,8 \rightarrow 143 \text{ troncos}$$

Así que el mínimo de troncos necesarios por día es:

$$Cap = 114 + 143 = 257 \text{ troncos / día}$$

$$TC = \frac{1}{Cap} = \frac{7horas * 3600}{257troncos} = 98,05 \text{ seg/tronco}$$

**Apartados 2 y 3.** Sí. Se podrá convertir en cuello de botella en el caso de que la velocidad de la cinta transportadora es tan lenta que impide poner el siguiente tronco antes de 98,05 segs. Como un tronco mide 6 metros la cinta debe haberse desplazado 6 metros antes de 98,05 segs. Por tanto la cinta debe ser:

$$v = \frac{e}{t} = \frac{6}{98,05} = 0,061 \text{ metros/seg}$$

**Apartados 4 y 5.** Primero tendremos que saber los tiempos de ciclo unitarios de tableros y patas que se quiere cumplir:

$$TC_{tab} = \frac{7horas * 3600}{2500} = 10,08 \text{ seg/tablero}$$

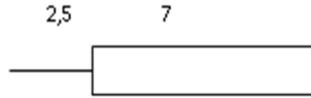
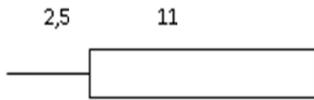
$$TC_{pata} = \frac{7horas * 3600}{10000} = 2,52 \text{ seg/pata}$$

Como sale un tablero cada 0,5 minutos y de cada tronco salen 22 tableros, se puede asumir que el TM de cortar un tronco en tableros es:

$$TM = 22 * 0,5 = 11 \text{ min}$$

Como salen diez patas cada minuto (es decir, una pata cada 0,1 minuto) y de cada tronco salen 70 patas, se puede asumir que el TM de cortar un tronco en patas es:

$$TM = 70 * 0,1 = 7 \text{ min}$$



Con estos datos ya podemos ver cuántas máquinas habría que ajustar a corta-tableros para poder cumplir con  $TC_{tab} = 10,08 \text{ seg/tab}$ .

El n.º de máquinas corta-tableros sin que se de interferencia son:

$$N = \frac{MP + TM}{MP} = \frac{13,5}{2,5} = 5,4 \rightarrow 5$$

De este modo sabemos que, en principio, si probamos con un n.º de máquinas inferior a este, con un solo operario atendiéndolas es suficiente, y quien marca el  $TC_{bat}$  es la máquina por lo que  $TC_{bat} = (MP+TM)$ .

Así, con 5 máquinas corta-tableros:

$$TC_{tab} = 13,5 / (5maq * 22tab) = 0,1227 \text{ min/tab} = 7,36 \text{ seg/tab}$$

Con 4 máquinas corta-tableros:

$$TC_{tab} = 13,5 / (4maq * 22tab) = 0,153 \text{ min/tab} = 9,2 \text{ seg/tab}$$

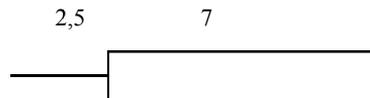
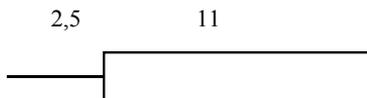
Con 3 máquinas corta-tableros:

$$TC_{tab} = 13,5 / (3maq * 22tab) = 0,204 \text{ min/tab} = 12,2 \text{ seg/tab} \text{ (Nos pasamos)}$$

Por tanto  $n_1 = 4$  máquinas corta-tableros atendidas por  $h_1 = 1$  operario.

En cuanto a las patas análogamente podemos ver cuantas máquinas habría que ajustar a corta-patas para poder cumplir con  $TC_{pata} = 2,52 \text{ seg / pata}$

El n.º de máquinas corta-patas sin que se de interferencia son:



$$N = \frac{MP + TM}{MP} = \frac{9,5}{2,5} = 3,8 \rightarrow 3$$

Al igual que antes, en principio, si probamos con un n.º de máquinas inferior a este, con un solo operario atendiéndolas es suficiente, y quien marca el  $TC_{bat}$  es la máquina por lo que  $TC_{bat} = (MP+TM)$ .

Así, con 3 máquinas corta-patas:

$$TC_{pata} = 9,5 / (3maq * 70patas) = 0,045 \text{ min/pata} = 2,71 \text{ seg/pata}$$

Pero vemos que por muy poco no llega a cumplir el TC requerido 2,52 seg / pata, por lo que serán necesario ajustar  $n_2 =$  cuatro máquinas corta-patas atendidas por  $h_2 = 2$  operarios, que en principio asumimos que atienden cada uno dos máquinas.

Si comprobamos el TC con esta configuración veremos que ahora sí se cumple. Tenemos que para una batería de 2maqs-1operario:

$$TC = \frac{9,5 * 60}{2 \text{ maq} * 22 \text{ tab}} = 4,07 \text{ seg/pata}$$

Por lo que para las dos baterías que hay en paralelo:

$$TC_{pata} = \frac{4,07}{2} = 2,03 \text{ seg/pata}$$

**Apartado 6.**  $Coste = 4 \text{ maq} * \left(\frac{15\text{€}}{3600}\right) * TC_{tab} + 1 \text{ op} * \left(\frac{10\text{€}}{3600}\right) * TC_{tab}$

$$Coste = 4 * \left(\frac{15\text{€}}{3600}\right) * 10,08 + 1 \text{ op} * \left(\frac{10\text{€}}{3600}\right) * 10,08 = 0,196 \text{ €/tablero}$$

Aunque no se especifica, tomamos el TC requerido de 10'08 porque asumimos que, dado que los troncos saldrán de la estación de limpieza a ritmo de cumplir con la demanda, será a ese ritmo de 10'08 que los tableros saldrán.

Por tanto en esta sección habrá cierta demora inherente, demora que también es tiempo que supone un coste tanto de operarios como de máquinas.

**Apartado 7.**

$$(10,5 + 6 + 3) \frac{\text{min}}{40\text{tab}} = 0,4875 \frac{\text{min}}{\text{tab}} = 29,25 \frac{\text{seg}}{\text{tab}} \rightarrow \frac{29,25}{10} = 2,9 \rightarrow 3 \text{ operarios}$$

$$\frac{(6 + 1)\text{min}}{90\text{patas}} = 0,077 \frac{\text{min}}{\text{pata}} = 4,67 \frac{\text{seg}}{\text{pata}} \rightarrow \frac{4,67}{2,52} = 1,81 \rightarrow 2 \text{ operarios}$$

En total serían necesarios 5 operarios en esta sección.

*Nota:* cabe señalar que hemos calculado el n.º de operarios por separado, y no se decía que fueran “especializados” en patas o tableros, por lo que, de haberlo calculado en base al tiempo de ciclo de palet genérico podría darnos resultado diferente (en todo caso, dado lo cercano que está en ambos casos el entero superior, el redondeo es poco y se supone que cinco son los operarios necesarios en todo caso).

**Apartado 8.** Cuando el palet va abajo la altura en vertical es cero, cuando se apila al 1er nivel la altura es 1m, y así sucesivamente. Como se apilan 4 niveles de palet, la media de altura para un apilado “tipo” sería prorrateando:

$$Alt_{media} = 0,25 * 0mm + 0,25 * 500mm + 0,25 * 1000mm + 0,25 * 1500mm$$

$$Alt_{media} = 750 mm = 0,75 m$$

Así, asumiendo una altura media de apilado a 0,75 metros de altura, despreciando el 10% de holgura, y asumiendo que en paletizado siempre se toma la carga desde nivel de suelo, y que la distancia media dentro del camión es 6,3m, tenemos:

$$T_{cic} = T_A + \left( \frac{120m + 6,3m}{vel_{h-con}} \right) + \left( \frac{0,75m}{vel_{elev-con}} \right) + T_D + \left( \frac{0,75m}{vel_{desc-sin}} \right) + \left( \frac{120m + 6,3m}{vel_{h-sin}} \right)$$

$$T_{cic} = 10 + \left( \frac{126,3}{2,12} \right) + \left( \frac{0,75}{0,3} \right) + 15 + \left( \frac{0,75}{0,4} \right) + \left( \frac{126,3}{2,92} \right)$$

$$T_{cic} = 10 + 59,57 + 2,5 + 15 + 1,87 + 43,25 = 132,2 seg$$

La única dificultad reside en extraer de los tiempos acíclicos, que se puede obtener del % de tiempo que supusieron los acíclicos en el ejemplo de la web. Allí se trabajó  $90 * 16 * 60 = 86.400 min$  y de ellos se pararon  $137 * 15 = 2055 min$ , por lo que se paró a cargar baterías el 2,378% del tiempo.

$$T_{apil} = T_{cic} + T_{acíclico} = 132,2 + (0,0237 * 130,3) = 135,3 \frac{seg}{ciclo} de apilado$$

*Nota:* si calculamos según los datos de la web cada cuanto tiempo debe cargarse baterías, se obtiene que la frecuencia de carga es mucho mayor que la duración de la jornada laboral. Por ello este tiempo acíclico podría no añadirse si se tuviera la precaución de dejar cargando las baterías siempre fuera de la jornada laboral. En todo caso no influye para el cálculo de carretilleros necesarios, como se verá en el siguiente apartado.

**Apartado 9.** Cada día deben salir redondeando por arriba unos 175 palets correspondientes a:

$$\frac{2500tab}{40} = 62,5 \rightarrow 63 palets de tableros$$

$$\frac{10000patas}{90} = 111,1 \rightarrow 112 palets de patas$$

Por tanto:

$$TC = \frac{7 horas * 3600}{175palets} = 144 seg/palet$$

Como en cada ciclo de apilado se tarda menos que eso: un carretillero será suficiente.

**Apartado 10.** En principio se podría pensar en emplear un operario menos. Simplemente se asignaría un solo operario a tres máquinas corta-patas (ya se ha comprobado que con tres máquinas aún no hay interferencia), y la cuarta máquina corta-patas pasaría a ser atendida por el operario que hasta ahora atendía cuatro máquinas corta-tableros. O sea ahora tendría esas 4 máquinas corta-tableros + 1 máquina corta-patas. Como dicho operario tenía demora de proceso (pues en realidad podía atender 5 máquinas sin interferencia) y el MP es el mismo en ambos tipos de máquinas, se puede pensar que no tendría problema y por tanto con dos operarios es suficiente (eso sí: previamente comprobando que se cumplirá con el  $TC_{tab}$  y con el  $TC_{pata}$ ).

Pero todo esto no es posible porque debemos observar que una máquina corta-patas atendida por ese operario sí que tendría interferencia ya que su TM es más corto, por tanto la respuesta es:

- No se puede emplear a menos operarios, los tres serían necesarios.

**Para seguir leyendo haga click aquí**