

Evaluación de alternativas de distribución en planta por medio de simulación

*Marco Acuña**
*Marco J. Moya***
*Carl Eckelman****

Resumen

La aplicación combinada de paquetes de simulación y distribución en planta permite determinar una distribución de planta eficiente sin tener que acudir a costosos métodos de prueba y error, los cuales no siempre generan los resultados deseados. Mediante el uso de estos paquetes, es posible estudiar y evaluar el rendimiento de máquinas, mano de obra, materiales y tecnología de procesos con el fin de entender mejor el comportamiento de variables tales como: razón de producción, tiempo de ciclo, mezcla de producto, inventario en proceso, tiempo de espera y producción total. La selección de posibilidades de distribución en planta usando BLOCPLAN, y su evaluación usando simulación por medio de SLAM son excelentes medios de encontrar una opción capaz de cumplir con los requerimientos de productividad y calidad. Este artículo presenta una aplicación combinada de BLOCPLAN y

SLAM en la industria de muebles de cocina. El objetivo de esta aplicación es encontrar una distribución de planta eficiente desde el punto de vista económico y que a la vez reúna las expectativas de alta productividad para el proceso y altos niveles de calidad para el consumidor.

Introducción

La industria del mueble, al igual que otros sectores industriales, se ha visto impulsada a buscar nuevos nichos de mercado que le permitan surgir competitivamente en el futuro inmediato. Para tener éxito en esta iniciativa, los tiempos de entrega al cliente deben ser acortados sustancialmente, mientras que los niveles de calidad de los productos deben ser maximizados. Esto implica que los tiempos de manufactura y de manejo de materiales deben ser reducidos. Para reducir tiempos de manufactura, deben ser implementados mejoramientos tecno-

* Profesor del Departamento de Producción, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

** Profesor del Departamento de Producción, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

*** Profesor del Departamento Forestal y Recursos Naturales, Purdue University, USA.

lógicos en diseño de máquinas, de producto y de proceso, en conjunto con estudios de reducción del tiempo de preparación de máquina. Estas medidas requieren de un estudio de factibilidad que relacione las inversiones con los beneficios obtenidos. Este análisis puede ser lento y costoso. La reducción de los tiempos de manejo de materiales requiere un análisis detallado de la distribución de las estaciones de trabajo.

Para obtener estas reducciones de tiempo, los productos deben fluir fácilmente a través de las líneas de producción. Distancias cortas por manejo de materiales e instalaciones adecuadas para el ensamble de partes y productos ayudan a evitar defectos de calidad. La reducción del tiempo de manejo de materiales es particularmente importante pues ha sido demostrado que este lapso es el mayor componente del tiempo total de producción.¹ Steudel y otros (1992), por ejemplo, afirman que el tiempo de manejo de materiales representa cerca del 60% del tiempo total de producción.

Las restricciones para generar un flujo continuo de materiales generalmente son causadas por distribuciones de planta deficientes, en las que los patrones de flujo² no están claramente definidos. Este tipo de instalaciones se caracterizan por tener largas distancias para el manejo de materiales, gran cantidad de retrocesos en el flujo de producción y de cruces de línea.

Para lograr un eficiente flujo de producción, es necesario poner en marcha un sistema de manejo de materiales con patrones de flujo que garanti-

cen distancias cortas entre las estaciones de trabajo y gran relación de flujo. Es particularmente importante que estas estaciones de trabajo estén ubicadas estratégicamente, de tal manera que se considere su relación y su función con otras operaciones del proceso de manufactura. Esto no sólo reduce las distancias de transporte sino que también elimina operaciones de retroceso en el flujo de producción y cruces de línea. Como consecuencia, ocurre una reducción en el tiempo total de producción.

Las siguientes metas (Francis y otros, 1992) generalmente justifican la selección de una alternativa de distribución de planta:

- a. Reducción en inversiones de capital para la compra de maquinaria y equipo así como para la construcción de instalaciones capaces de enfrentar la expansión de planta. Las inversiones de capital son cada día más escasas, por ello, las instalaciones actuales y las nuevas áreas de construcción deben ser utilizadas eficientemente y efectivamente.
- b. Reducción del tiempo del ciclo de producción. Un patrón de flujo adecuado por medio de instalaciones bien organizadas facilita la reducción del tiempo total de producción.
- c. Búsqueda de un uso efectivo del área y el volumen por medio de la ubicación de máquinas, equipo, puestos de trabajo, sitios de almacenaje y pasillos, de tal manera que el espacio, las distancias de transporte y el tiempo necesario para trasladar o acceder productos sean minimizados.

1. El tiempo total de producción es el tiempo que transcurre desde que una orden de producción entra a las líneas de producción hasta que ésta sale de ellas transformada en producto terminado.

2. Un patrón de flujo es la secuencia física seguida por un producto en las líneas de producción. El patrón más usado es línea recta; sin embargo, otros patrones tales como U, T, L y S han probado ser muy eficientes.

- d. Diseño de ambientes de trabajo confortables y seguros, de tal manera que los trabajadores se sientan motivados a producir con mejor calidad.
 - e. Flexibilidad para acomodar cambios en el diseño de producto y proceso, de tal manera que éstos sean llevados a cabo con una mínima perturbación de la producción.
 - f. Minimización del tiempo y el costo de manejo de materiales. Una distribución de planta bien diseñada y eficiente permite que productos y partes fluyan más rápidamente a través de las líneas de producción, ya que reduce distancias entre aquellas estaciones de trabajo que están altamente relacionadas desde el punto de vista del flujo de productos.
 - g. Utilización eficiente del equipo de manejo de materiales y adecuada selección de cargas unitarias, de tal modo que el movimiento de productos entre estaciones de trabajo sea realizado por medio de lotes pequeños de producción.
 - h. Mejora de la supervisión y el control de producción. Las estaciones de trabajo ordenadas y distribuidas facilitan la supervisión así como la asignación y el control de tareas.
- En los últimos años han sido propuestos una gran cantidad de procedimientos para la distribución de planta (Nadler, 1961), (Immer, 1950), (Apple, 1977), (Reed, 1961), y (Francis y otros, 2992). Estos procedimientos coadyuvan al desarrollo de una distribución de planta eficiente en cualquier industria. En general, todas estas metodologías consideran de alguna forma las siguientes cinco fases:
- a. *Diagnóstico inicial.* Se estudia el comportamiento de la distribución de planta actual para identificar la naturaleza de los problemas existentes y para desarrollar ideas concernientes a su solución.
 - b. *Identificación y recolección de datos.* Se identifican las estaciones de trabajo donde los datos van a ser recolectados. Los datos se recolectan con base en los problemas identificados en la primera fase y se analizan para desarrollar y evaluar un conjunto de posibilidades de solución.
 - c. *Diseño de alternativas de solución.* Con base en los datos recogidos, se seleccionan dos o más alternativas de distribución y se comparan con la distribución de planta actual en términos de las metas de productividad requeridas.
 - d. *Evaluación de alternativas.* Las alternativas propuestas se comparan entre sí con el fin de seleccionar aquella o aquellas que reúnen los requisitos de productividad.
 - e. *Implementación de la mejor alternativa.* Comenzando con un buen programa de entrenamiento y educación, se ejecuta la mejor alternativa. Se recogen los datos sobre el comportamiento de la nueva distribución con el fin de retroalimentar y mejorar su eficiencia.

Tradicionalmente, estas fases se han ejecutado por medio de un análisis manual de datos de flujo (carga unitaria,³ distancias, secuencias, etc.) así como en la relación entre departamentos. Se han desarrollado varios paquetes de computación con el fin de simplificar el proceso de búsqueda de al-

3. Carga unitaria o más unidades de producto que se transportan en conjunto de una estación de trabajo a otra.

ternativas, especialmente cuando se consideran gran cantidad de estaciones de trabajo y diversidad de productos. Dentro de estos paquetes se incluye ALDEP (Seehof, 1967), PLANET (Deisenroth y otros, 1975), COFAD (Tompkins y otros, 1975), CORELAP (Lee y otros, 1966), BLOCPLAN (Donaghey, 1986), y CRAFT (Buffa y otros, 1964).

La entrada de datos en estos paquetes está relacionada con aspectos tales como: flujo de producción, tasas de producción, distancias entre estaciones de trabajo, áreas, relaciones de actividades entre departamentos y secuencias de producción. La salida consiste de una o más alternativas de distribución de planta para las estaciones de trabajo consideradas en el estudio. Sin embargo, ninguno de estos programas provee un medio para evaluar comparar el comportamiento de cada una de las alternativas de solución propuestas. Dichosamente, existen otros paquetes de computación capaces de efectuar estas tareas.

El propósito de este artículo es presentar un ejemplo acerca de cómo obtener alternativas de distribución de planta y luego evaluar y comparar su productividad por medio de simulación. El paquete BLOCPLAN se usa para generar alternativas de distribución de planta y el paquete de simulación SLAM (Pristker Corporation, 1989) se emplea para evaluar y comparar la eficiencia y eficacia de cada distribución en términos de requisitos de productividad previamente establecidos. La combinación de estos dos paquetes de computación provee un procedimiento racional para encontrar distribuciones efectivas y eficientes desde el punto

de vista de su costo y productividad. Más específicamente, la meta de este artículo es demostrar cómo se pueden usar paquetes de distribución en planta y simulación en conjunto para seleccionar y evaluar distribuciones de planta para los departamentos de maquinado y ensamble en una industria de fabricación de muebles de cocina. Estas alternativas de distribución de planta son capaces de disminuir los tiempos de manejo de materiales y consecuentemente el tiempo total de producción. Además, se analizan las ventajas y desventajas de seleccionar distribuciones de planta por proceso versus celdas de manufactura.⁴

Descripción del problema

El ejemplo presentado en este artículo está relacionado con la manufactura de muebles de cocina. La alta competencia en el mercado hace que el tiempo total de producción en este tipo de industria deba ser minimizado con el fin de agilizar el envío de producto al mercado. Un componente importante de este tiempo es el correspondiente al manejo de materiales. Ha sido demostrado (Steudel y otros, 1992) que las distribuciones de planta ineficientes contribuyen a incrementar el tiempo de manejo de materiales. Consecuentemente, es muy importante desarrollar distribuciones de planta capaces de disminuir este tiempo sin detrimento de los requerimientos de calidad y productividad.

En la fabricación de muebles de cocina, tienden a ocurrir cuellos de botella⁵ e incrementos en el tiempo de ma-

4. Una celda de manufactura es una o más máquinas ubicadas en un área específica de la planta, cuya función es producir un conjunto de unidades de producto que tienen gran similitud en sus atributos de diseño y manufactura.

nejo de materiales más frecuentemente durante las etapas de maquinado y ensamble. Es por esto que estas etapas son consideradas en este análisis. En este proceso de fabricación se identifican claramente cuatro etapas: almacenaje y secado de madera, maquinado (incluyendo lijado), ensamble (incluyendo almacenaje de partes, inspección, y empaque), y envío de producto terminado. El tiempo total de producción requerido para producir una orden de producción se ve afectado por las operaciones que se efectúan en estas áreas, pero sobre todo por las operaciones de manejo de materiales.

Para demostrar los procedimientos usados al buscar una eficiente distribución de planta para las operaciones de maquinado y ensamble, supongamos que una planta de fabricación de muebles de cocina produce tres tipos

de muebles: pared, base y especiales. Cada tipo de mueble es producido en una determinada secuencia de producción y con una diferente mezcla de producto a lo largo de diez estaciones de trabajo. El Cuadro 1 presenta una breve descripción de cada puesto de trabajo mientras que el Cuadro 2 presenta información acerca de cada tipo de producto.

En este análisis, se estudiaron dos opciones de distribución de planta: una distribución por proceso capaz de producir todo tipo de mueble y una distribución por celdas que consistía de tres celdas que producen cada una un tipo de mueble. Independientemente de la opción analizada, los materiales podrían ser manejados manualmente o por medio de bandas transportadoras. Un diagrama de flujo que representa estas opciones aparece en la Figura 1.

| Cuadro 1 | | | |
|---|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| Descripción de estaciones de trabajo en manufactura de muebles de cocina | | | |
| Estación de trabajo | Descripción | Área (pies ²) | Mano de* obra |
| 1 | Maquinado | 7.000 | 8 |
| 2 | Almacenaje temporal | 6.600 | 3 |
| 3 | Prensado | 1.024 | 9 |
| 4 | Taladrado | 100 | 3 |
| 5 | Ensamble de herrajes | 81 | 4 |
| 6 | Ensamble de puertas | 324 | 4 |
| 7 | Ensamble de gavetas | 1.024 | 4 |
| 8 | Inspección | 225 | 4 |
| 9 | Empaque | 1.125 | 5 |
| 10 | Código de barras ⁶ | 1.250 | 3 |

* Se refiere a capacidad de mano de obra en cada estación

5. Un cuello de botella es una o más máquinas que han alcanzado su máxima capacidad de producción y que por lo tanto no importa qué tan ágiles sean las demás máquinas del proceso, el tiempo del ciclo de producción siempre estará gobernado por el cuello de botella.
6. Esta es una operación automatizada en la que un código de barras se adhiere al producto para su posterior identificación durante la etapa de envío y transporte.

Cuadro 2
Información de los productos

| Tipo de mueble | Composición de la orden (%) | Secuencia de producción |
|----------------|-----------------------------|-------------------------|
| Pared | 57,1 | 1-2-3-4-7-5-6-8-9-10 |
| Base | 31,3 | 1-2-3-4-5-6-8-9-10 |
| Especial 1 | 5,8 | 1-2-4-7-5-9 |
| Especial 2 | 5,6 | 1-2-7-9-10 |
| Especial 3 | 0,2 | 1-3-4-7-4-7-9-10 |

Para resolver el problema, se determinaron varias opciones de distribución por proceso y por celdas usando BLOCPAN. La efectividad y eficiencia de cada opción fue simulada usando SLAM. La evaluación se hizo con base en veinte réplicas que originaron medidas de rendimiento tales como utilización de equipo, producción total, inventario en proceso y tiempo de espera.

Análisis de opciones

La Figura 2 presenta las cuatro opciones de distribución por proceso y las seis de distribución por celdas que fueron obtenidas del paquete BLOCPAN. Cuando BLOCPAN desarrolla una opción de distribución también le proporciona un puntaje que es una medida de la eficiencia de la distribución y que asume un valor entre 0 (pa-

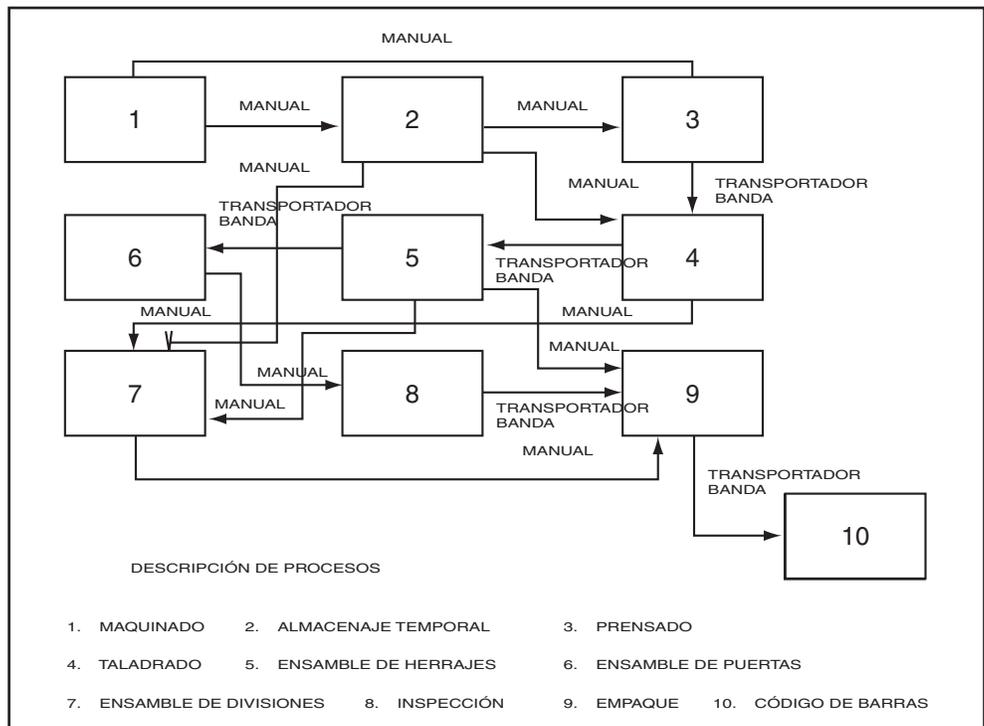


Figura 1

Método de manejo de materiales usado para mover productos entre estaciones

ra una distribución ineficiente) y 1 (para una excelente distribución). BLOCPLAN califica una opción como eficiente cuando la mayor parte de las relaciones de flujo se cumplen, en este caso el puntaje tiende a 1, e ineficiente cuando tiende a 0.

BLOCPLAN representa áreas de trabajo por medio de rectángulos, por ello ofrece la posibilidad de seleccionar una razón o proporción que represente la relación entre el ancho y el largo de las áreas de trabajo. En este ejemplo, las razones usadas fueron

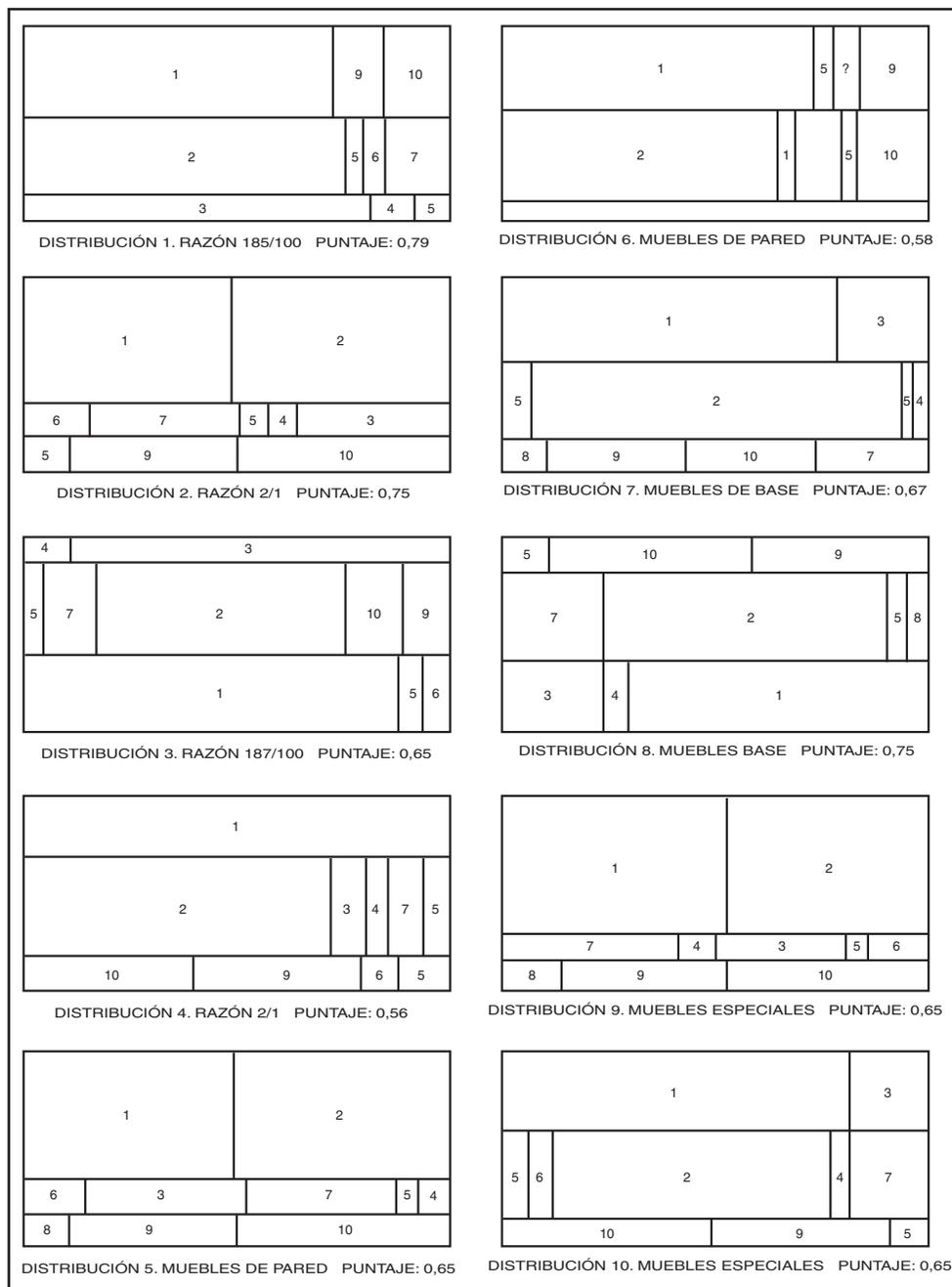


Figura 2
Opciones de distribución por proceso y por celdas

1,86 (relación entre el largo y el ancho del área total dedicada a maquinado y ensamble) y 2 (relación del largo con respecto al ancho de 2 a 1).

Para efectos de la simulación del tiempo de manejo de materiales, las distancias entre las estaciones de trabajo fueron especificadas con base en las distancias entre los centroides de las áreas que representan cada centro de trabajo, las cuales fueron obtenidas de la salida que ofrece BLOCPLAN para cada opción. Las distancias entre las estaciones de trabajo fueron calculadas usando el modelo de distancias rectilíneas⁷ (Francis y otros, 1992) medidas en relación con los centroides. Estas distancias (d_i) junto con los valores de velocidad de movimiento (v_i) obtenidos de la distribución empírica de probabilidad mostrada en la Figura 3 fueron usadas para calcular el tiempo de manejo de materiales (t_i), de tal manera que $t_i = v_i / d_i$. Con ello, la simulación considera no sólo el tiempo de producción de cada actividad, sino también el tiempo de manejo de materiales requerido por partes y subensambles para moverse de una esta-

ción de trabajo a otra.

Con el fin de seleccionar una distribución entre las opciones de distribución por proceso y por celdas, se simuló cada opción. En cada una de ellas, las estaciones de trabajo fueron localizadas en diferentes posiciones y por ello las distancias entre ellas varían. La evaluación se hizo con base en producción total, inventario en proceso, utilización de recursos y tiempo promedio de espera de productos en el sistema. La regla de decisión utilizada se basó en la búsqueda de aquella opción capaz de maximizar la cantidad de producción y la utilización de recursos minimizando inventario en proceso y tiempo promedio de espera en el sistema. El análisis de las dos opciones de distribución se presenta en este artículo.

Distribución por proceso

Con base en corridas de simulación con veinte réplicas para las cinco opciones de distribución, se evaluó la

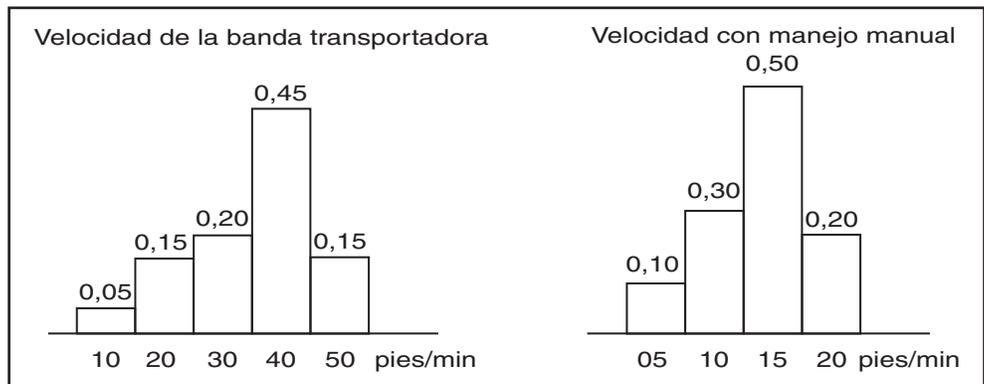


Figura 3
Distribución empírica de probabilidad de velocidad de manejo de materiales

7. El modelo que expresa la relación de distancia entre estaciones de trabajo es:

$$f(A, B) = | (A_1 - B_1) | + | (A_2 - B_2) |$$

(A_1, A_2): Coordenadas de la posición del centroide en la estación A

(B_1, B_2): Coordenadas de la posición del centroide en la estación B

cantidad de producción, la utilización de recursos, el tiempo de espera en el sistema y el inventario en proceso para un día de producción (420 minutos). El Cuadro 3 presenta las cinco posibilidades de distribución con el correspondiente puntaje, razón, tiempo de producción y cantidad de producción para un día de trabajo.

Como se puede observar en el Cuadro 3, la opción 1 provee el tiempo más corto del ciclo (promedio entre 10 y 84 minutos con 95% de confianza) y su sistema de manufactura fue capaz de producir 706 unidades con una razón de producción de 1,68 unidades por minuto. La diferencia en cantidad de producción entre las alternativas es el resultado de la variación en distancia entre las estaciones de trabajo, especialmente entre la estación 6 (ensamble de puertas) y la estación 8 (inspección). Un resultado bastante interesante es que aun cuando el puntaje de la distribución para la opción 4 fue 0,58 (el valor más pequeño), su cantidad de producción fue mayor en 76 unidades que la correspondiente a la opción 2, cuyo puntaje fue 0,76. Esto demuestra que para seleccionar una eficiente alternativa de distribución se requiere de un análisis adicional, en el

cual se dé peso a variables tales como tiempo total de producción, cantidad de producción e inventario en proceso. En otras palabras, un alto puntaje obtenido usando paquetes de distribución de planta no es suficiente para seleccionar una opción eficiente y eficaz desde el punto de vista del costo y productividad.

El Cuadro 4 muestra el porcentaje de utilización de las estaciones de trabajo. Es claro que para las cuatro primeras opciones sólo la estación de prensado (3) fue altamente utilizada. Esto significa que se necesitan recursos adicionales para enfrentar los requerimientos de producción en este centro de trabajo. Código de barras (10) tiene una muy baja utilización, lo que era de esperar pues es una operación automatizada. Se decidió agregar una nueva corrida de simulación (opción 5), la cual está basada en la distribución de planta de la opción 4 pero usando menos trabajadores en aquellos centros que demostraron baja utilización. El Cuadro 3 muestra que con esta nueva opción, el sistema de producción es capaz de producir solamente 2,1% menos unidades que la alternativa 4, pero con una reducción significativa del 320% en mano de

Cuadro 3
Medidas de efectividad por opción para un día de producción (420 min)

| Opción | Razón | Puntaje | Tiempo en minutos | Cantidad de producción | Razón de producción (unid/min) |
|--------|-------|---------|-------------------|------------------------|--------------------------------|
| 1 | 1,87 | 0,79 | 46,8 (19,3)* | 706 | 1,68 |
| 2 | 2 | 0,76 | 82,1 (32) | 550 | 1,31 |
| 3 | 1,87 | 0,65 | 81,1 (40,2) | 635 | 1,51 |
| 4 | 2 | 0,58 | 59,9 (22,7) | 626 | 1,49 |
| 5 | 2 | 0,58 | 63,3 (23,8) | 613 | 1,46 |

* Desviación estándar

Cuadro 4
Utilización de cada estación de trabajo para cada alternativa (%)

| Opción \ Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 1 | 75,4 | 66,6 | 97,5* | 27,9 | 20,9 | 27,9 | 37,4 | 32,6 | 44,7 | 6,3 |
| 2 | 75,4 | 65,9 | 73,5 | 30,5 | 23,0 | 30,8 | 33,0 | 74,5 | 92,8 | 5,0 |
| 3 | 75,4 | 66,6 | 97,2* | 25,9 | 21,7 | 28,5 | 37,2 | 34,5 | 44,1 | 6,1 |
| 4 | 75,4 | 66,5 | 47 | 30,8 | 23,6 | 31,3 | 38,0 | 74,6 | 94,0 | 5,5 |
| 5 | 86,2 | 66,5 | 84,7 | 45,8 | 59,2 | 59,2 | 83,9 | 72,4 | 93,3 | 16 |

* Cuello de botella

obra. Además, como se puede ver en el Cuadro 4, la utilización de estaciones de trabajo es mucho más alta con la opción 5.

El cuadro 5 muestra la magnitud del inventario en proceso generado por cada una de las corridas de simulación para cada opción y para cada centro de trabajo. Es claro que la alternativa 1 mostró el mejor comportamiento en términos de inventario en proceso, pues el número total de partes y subensambles que quedaron en el siste-

ma al final de cada una de las corridas de simulación fue mínimo. La peor opción en términos de inventario en proceso fue la 2, pues dejó al final de la simulación muchas más partes y subensambles que la anterior. La alternativa 5 no tuvo buenos resultados pues, como era de esperar, la reducción en mano de obra causó un incremento en el inventario en proceso.

El Cuadro 6 muestra el tiempo promedio de espera en cada estación de trabajo. De nuevo, la alternativa 1 presen-

Cuadro 5
Inventario en proceso para cada opción en cada estación de trabajo

| Opción \ Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Total |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|----|-------|
| 1 | 461 | 444 | 175 | 237 | 42 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1360 |
| 2 | 617 | 589 | 439 | 517 | 277 | 173 | 262 | 163 | 0 | 0 | 3037 |
| 3 | 532 | 515 | 201 | 267 | 51 | 0 | 48 | 0 | 0 | 0 | 1614 |
| 4 | 541 | 522 | 374 | 447 | 177 | 84 | 167 | 82 | 0 | 0 | 2394 |
| 5 | 554 | 535 | 387 | 459 | 210 | 122 | 171 | 119 | 2 | 0 | 2559 |

ta el mejor comportamiento en relación con el promedio del tiempo de espera y la cantidad de producción obtenida. La opción 5 presenta el más alto tiempo promedio de espera debido a la reducción en mano de obra. Una diferencia importante entre las alternativas 1 y 3 en comparación con las otras es que el tiempo promedio de espera para las opciones 2, 4 y 5 fue bajo en empaque (9) mientras que fue alto para las 1 y 3. Por otro lado, para las 2, 4 y 5, el tiempo promedio de espera fue bajo para prensado (3) mientras que fue alto para las alternativas 1 y 3. Para resolver este problema será necesario agregar más mano de obra en aquellas estaciones de trabajo identificadas en una determinada opción seleccionada. Esto, por supuesto, resultará en un incremento en el costo de producción.

Distribución por celdas de manufactura

En la misma forma que para la distribución por proceso, se obtuvieron veinte réplicas para varias corridas de simulación para cada tipo de mueble. Se analizaron dos opciones para cada

celda. El Cuadro 7 presenta la información concerniente al puntaje, tiempo de ciclo y cantidad de producción para un día de producción (420 minutos). La razón usada en este análisis fue 2.

Como se puede observar en el Cuadro 7, la opción 2 fue la mejor para todos los tipos de muebles. Una vez más, se puede concluir que un alto puntaje en una opción no garantiza que esa sea una eficiente alternativa para distribuir los puestos de trabajo. Por eso, tal y como se dijo antes es necesario efectuar un análisis más detallado de otros factores que afectan la efectividad del sistema. Todos los puntajes de la opción 2 fueron más bajos que los de la 1; sin embargo, la cantidad de producción fue mucho mayor (364 unidades).

El Cuadro 8 muestra el porcentaje de utilización de cada estación de trabajo para cada opción de simulación y para cada línea de producción. Es claro que la celda de muebles especiales no es altamente utilizada para la mezcla de producción simulada en este ejemplo. Además, es posible que solamente una estación de código de barras atienda las tres celdas pues su utilización por celda es bastante baja.

Cuadro 6
Tiempo promedio de espera en minutos en cada estación de trabajo

| Opción \ Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 1 | 0,00 | 0,09 | 26,8 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,04 | 0,00 |
| 2 | 0,00 | 0,14 | 0,14 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,08 | 0,79 | 56,0* | 0,00 |
| 3 | 0,00 | 0,10 | 35,8* | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,06 | 0,01 | 0,05 | 0,00 |
| 4 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 1,02 | 35,4* | 0,00 |
| 5 | 0,02 | 0,11 | 0,52 | 0,04 | 0,29 | 0,62 | 1,32 | 0,85 | 44,9* | 0,00 |

* Cuellos de botella

Cuadro 7
Medidas de efectividad para cada opción de distribución por celdas

| Tipo de mueble | OPCION 1 | | | OPCION 2 | | |
|----------------|------------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| | Puntaje | Tiempo de ciclo | Producción (unidades) | Puntaje | Tiempo de ciclo | Producción (unidades) |
| Pared | 0,65 | 94,3 (38,8)* | 428 | 0,58 | 17,4 (1,9)* | 643 |
| Especial | 0,65 | 38 (7,4) | 23 | 0,51 | 27,6 (6,4) | 42 |
| Base | | 95,1 (43) | 207 | 0,75 | 28,5 (4,44) | 337 |
| | PRODUCCION TOTAL | | 658 | PRODUCCION TOTAL | | 1022 |

* Desviación estándar.

Cuadro 8
Porcentaje de utilización de cada estación de trabajo en cada corrida de simulación y para cada tipo de producto

| Opción \ Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| MUEBLES DE PARED | | | | | | | | | | |
| 1 | 82,1 | 86,7 | 96,5* | 27,1 | 22,7 | 73,6 | 32,8 | 78,4 | 93,5 | 12,2 |
| 2 | 82,1 | 86,9* | 80,6 | 31,7 | 26,8 | 86,9* | 38,7 | 52,5 | 86,2 | 18,9 |
| MUEBLES ESPECIALES | | | | | | | | | | |
| 1 | 80* | 27,7 | 4,7 | 7,2 | 2,4 | 0,0 | 61,5 | 0,0 | 26,3 | 0,0 |
| 2 | 80* | 27,7 | 4,5 | 8,6 | 2,3 | 0,0 | 63,0 | 0,0 | 36,2 | 0,0 |
| MUEBLES BASE | | | | | | | | | | |
| 1 | 57,9 | 84,9 | 82,8 | 46,6 | 48,1 | 54,2 | 0,0 | 95,3* | 43,5 | 6,6 |
| 2 | 57,9 | 85 | 62,8 | 46,9 | 48,0 | 54,0 | 0,0 | 62,8 | 88,8* | 10,2 |

* Cuellos de botella

El Cuadro 9 muestra la cantidad de inventario en proceso generado en cada corrida de simulación, para cada opción de distribución de planta y para cada estación de trabajo. El número total de unidades al final de la simulación para la alternativa 2 y para cada tipo de mueble fue 519 unidades. Esta cantidad fue mucho más baja que el número total de unidades en proceso para la mejor alternativa en la distribución por proceso (1.360 unidades).

El Cuadro 10 muestra el tiempo promedio de espera en cada estación de trabajo. Esta medida de efectividad no fue significativa para todas las estaciones excepto para prensado o(3), inspección (8) y empaque (9). Estas estaciones de trabajo representan cuellos de botella. En la opción 2, los tiempos pequeños de espera combinados con tiempos pequeños de ciclo para cada tipo de mueble son la clave para la reducción del tiempo total del ciclo de producción.

Comparación de las dos opciones de distribución

La Figura 4 presenta las dos mejores opciones seleccionadas en la etapa anterior para una distribución por proceso y por celdas. En la parte superior de dicha figura, la alternativa de distribución por proceso es capaz de producir

todo tipo de mueble de cocina. En la parte inferior de la Figura 4, se presentan tres celdas de manufactura, en cada una de las cuales se produce únicamente un tipo de mueble. La selección de la mejor opción para la distribución de los puestos de trabajo en esta planta fue determinada por medio de un análisis de los resultados presentados en el Cuadro 11.

Cuadro 9
Inventario en proceso al final de la simulación para cada alternativa y cada estación de trabajo

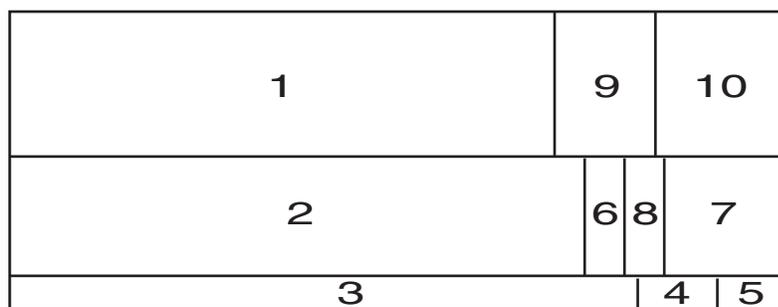
| Opción \ Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Total |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|----|-------|
| MUEBLES DE PARED | | | | | | | | | | | |
| 1 | 238 | 228 | 127 | 127 | 121 | 114 | 124 | 113 | 0 | 0 | 1192 |
| 2 | 23 | 16 | 8 | 8 | 6 | 4 | 8 | 3 | 0 | 0 | 76 |
| MUEBLES ESPECIALES | | | | | | | | | | | |
| 1 | 111 | 109 | 0 | 49 | 45 | 0 | 106 | 0 | 0 | 0 | 420 |
| 2 | 92 | 91 | 0 | 22 | 16 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 311 |
| MUEBLES BASE | | | | | | | | | | | |
| 1 | 160 | 157 | 148 | 148 | 146 | 142 | 0 | 1 | 0 | 0 | 902 |
| 2 | 30 | 27 | 20 | 20 | 16 | 10 | 0 | 9 | 0 | 0 | 132 |

Cuadro 10
Tiempo promedio de espera en cada centro de trabajo

| Opción \ Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|--------|------|
| MUEBLES DE PARED | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00 | 0,50 | 25,2* | 0,03 | 0,02 | 0,54 | 0,04 | 0,26 | 0,42,1 | 0,00 |
| 2 | 0,00 | 0,39 | 0,23 | 0,03 | 0,01 | 0,57* | 0,04 | 0,00 | 0,31 | 0,00 |
| MUEBLES ESPECIALES | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 1,21* | 0,00 |
| 2 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 3,16* | 0,00 |
| MUEBLES BASE | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00 | 0,46 | 0,55 | 0,08 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 70,6* | 0,01 | 0,00 |
| 2 | 0,00 | 0,39 | 0,14 | 0,08 | 0,06 | 0,17 | 0,00 | 0,27 | 3,0* | 0,00 |

* Cuellos de botella

DISTRIBUCIÓN POR PROCESO



CELDAS DE MANUFACTURA

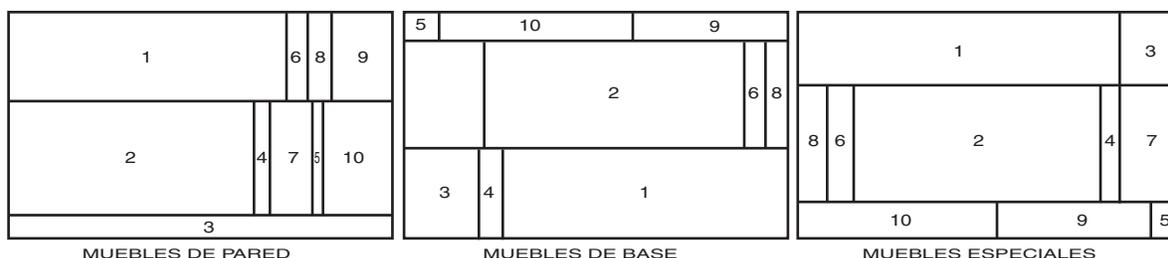


Figura 4

Opciones de distribución de planta por proceso y por celdas de manufactura

Como se puede observar en el Cuadro 11 y en la Figura 5, la posible distribución de esta planta por medio de celdas de manufactura ofrece un incremento en la cantidad de producción del 44,8% y una disminución en la cantidad de inventario en proceso del 61,8% en relación con la distribución por proceso. Por otro lado, la distribución por proceso es capaz de producir importantes cantidades de muebles con menor mano de obra debido a la capacidad de compartir recursos que posee este tipo de organización de la producción. Además, el tiempo de espera en el sistema es mucho menor en distribución por celdas, mientras que la utilización de las estaciones de trabajo es alta. Ante ello, la decisión de usar distribución por proceso o por celdas depende en este caso de la demanda de pro-

ducto. Por supuesto, esta decisión debe tomarse con base en resultados que consideren no sólo las variables analizadas en este ejemplo, sino también otros aspectos tales como entrenamiento de operarios para atender más de una estación de trabajo e inversiones de capital para redistribuir la planta, construir nuevas instalaciones y comprar equipo para cada celda.⁸ Si solamente se considera la demanda de producto, la distribución por proceso es la mejor opción únicamente cuando la demanda de producto sea baja.

Conclusiones

A partir de este ejemplo de aplicación de BLOCPLAN y SLAM a la industria de fabricación de muebles de cocina, se puede concluir que:

Cuadro 11
Resumen de resultados de las mejores alternativas de distribución

| Opción | Puntaje | Tiempo de ciclo (min) | Razón producción (units/min) | Cantidad de producción | Inventario proceso total |
|--------------------------|---------|-----------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Distribución por proceso | 0,79 | 46,8 (19,3) | 1,68 | 706 | 1360 |
| Distribución por celdas | | MUEBLES DE PARED | | | |
| | 0,58 | 17,4 (1,9) | 1,54 | 643 | 76 |
| | | MUEBLES ESPECIALES | | | |
| | 0,51 | 27,6 (6,4) | 0,10 | 42 | 311 |
| | | MUEBLES BASE | | | |
| | 0,75 | 28,5 (4,44) | 0,80 | 337 | 132 |
| | | | TOTAL | 1022 | 519 |

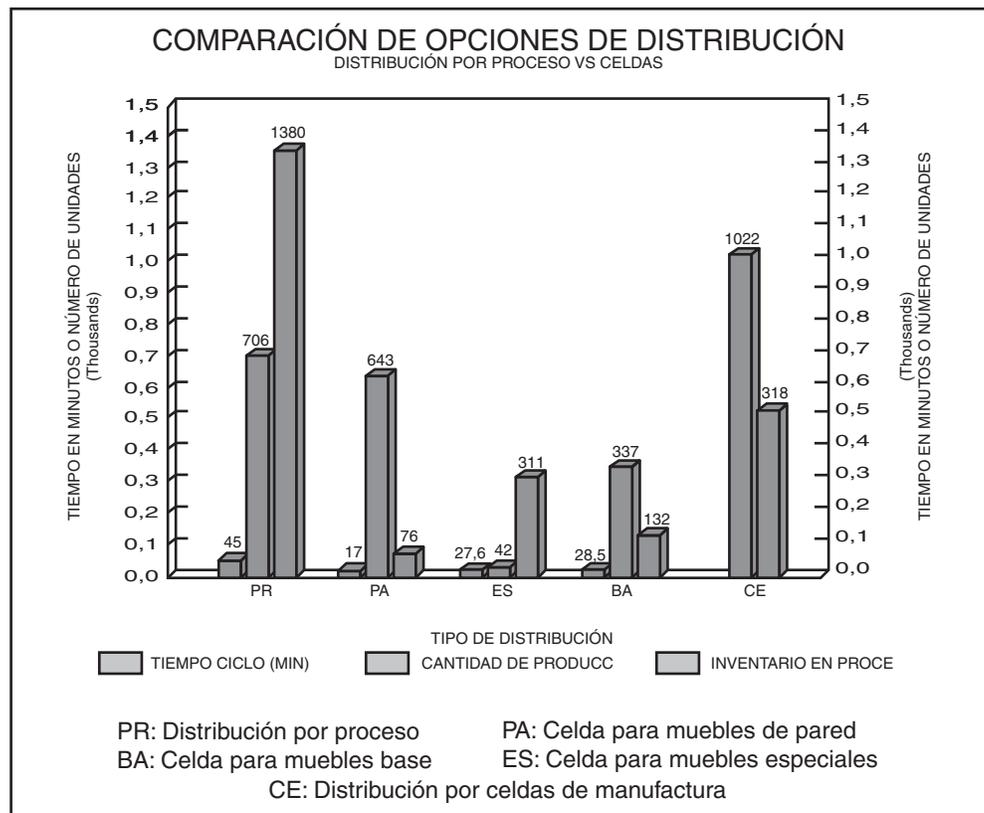


Figura 5
Comparación de algunas medidas de efectividad en distribución por proceso y distribución por celdas de manufacturas

1. Los tiempos de manejo de materiales deben ser necesariamente considerados en la búsqueda de una opción de distribución de planta, pues largas distancias entre estaciones de trabajo con alta relación de flujo, incrementan el ciclo total de producción.
2. La decisión de escoger una opción de distribución con base, únicamente, en el puntaje asignado por un determinado paquete de distribución de planta, no es suficiente. Otras técnicas, tal como simulación, son muy útiles para evaluar el rendimiento y el comportamiento de una o más opciones, de tal manera que se seleccione aquella que mejor reúna los requisitos establecidos para algunas medidas de efectividad, cuyos valores son asignados de acuerdo con requerimientos de calidad y productividad.
3. Las técnicas de simulación industrial han probado ser muy efectivas para evaluar opciones de distribución en planta en términos de medidas de efectividad y eficiencia tales como tiempo de espera, utilización de recursos, cantidad de producción e inventario en proceso.
4. Los recursos de producción pueden ser mejor utilizados en distribuciones por proceso debido a la posibilidad de compartir recursos entre estaciones de trabajo.
5. La distribución por celdas de manufactura incrementa la cantidad de producción debido a que los tiempos de espera y la cantidad de inventario en proceso son minimizados. Por ello, este tipo de distribución se debe usar sólo cuando la

demanda de producto sea alta.

Bibliografía

- Apple, J. M. 1977. *Plant Layout and Material Handling*. John Wiley and Sons: New York.
- Buffa, E. S., Armour G. C. & Vollmann, . E. 1964. Allocating Facilities with CRAFT. *Harvard Business Review*. 42. 136-159.
- Donaghey, Charles. 1986. *BLOCKPLAN: Layout Design System*. Industrial Engineering Department, University of Houston.
- Deisenroth, M. P. & J. M. Apple. 1972. A Computerized Plant Layout Analysis and Evaluation Technique. *Technical Papers 1972, AIIE Twenty-fifth Anniversary Conference and Convention: Norcross, Georgia*, páginas 75-87.
- Francis, Richard, McGinnis, Leon, & White, John. 1992. *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.
- Immer, J. R. 1950. *Layout Planning Techniques*. McGraw-Hill Book Company: New York.
- Lee, R. C. & J. M. Moore. 1967. CORELAP. Computerized Relationship Layout Planning. *Journal of Industrial Engineering*. 18(20), 195-200.
- Nadler, G. 1961. *Work Design: A Systems Concept*. Richard D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois.
- Pristker Corporation, Inc. 1989. *SLAMSYSTEM. Total Simulation Project Support*. Version 2.1. MS DOS Operating System.
- Reed, R. 1961. *Plant Layout: Factors, Principles, and Techniques*. Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois.
- Seehof, J M. & Evans, W. O. 1967. Automated Layout Design Program. *Journal of Industrial Engineering*. 18(12). 690-695.
- Stuedel, H., Desruelle, P. 1992. *Manufacturing in the Nineties: How to Become a Mean, Lean, World-Class Competitor*, Van Nostrand Reinhold: New York.
- Tompkins, J. A., & Reed, R. 1975. COFAD. A New Approach to Computerized Layout. *Modern Materials Handling*. 30(5). 40-43.

8. Stuedel y otros, 1992 dan una explicación amplia de la influencia de estos factores en la decisión de implementar celdas de manufactura.