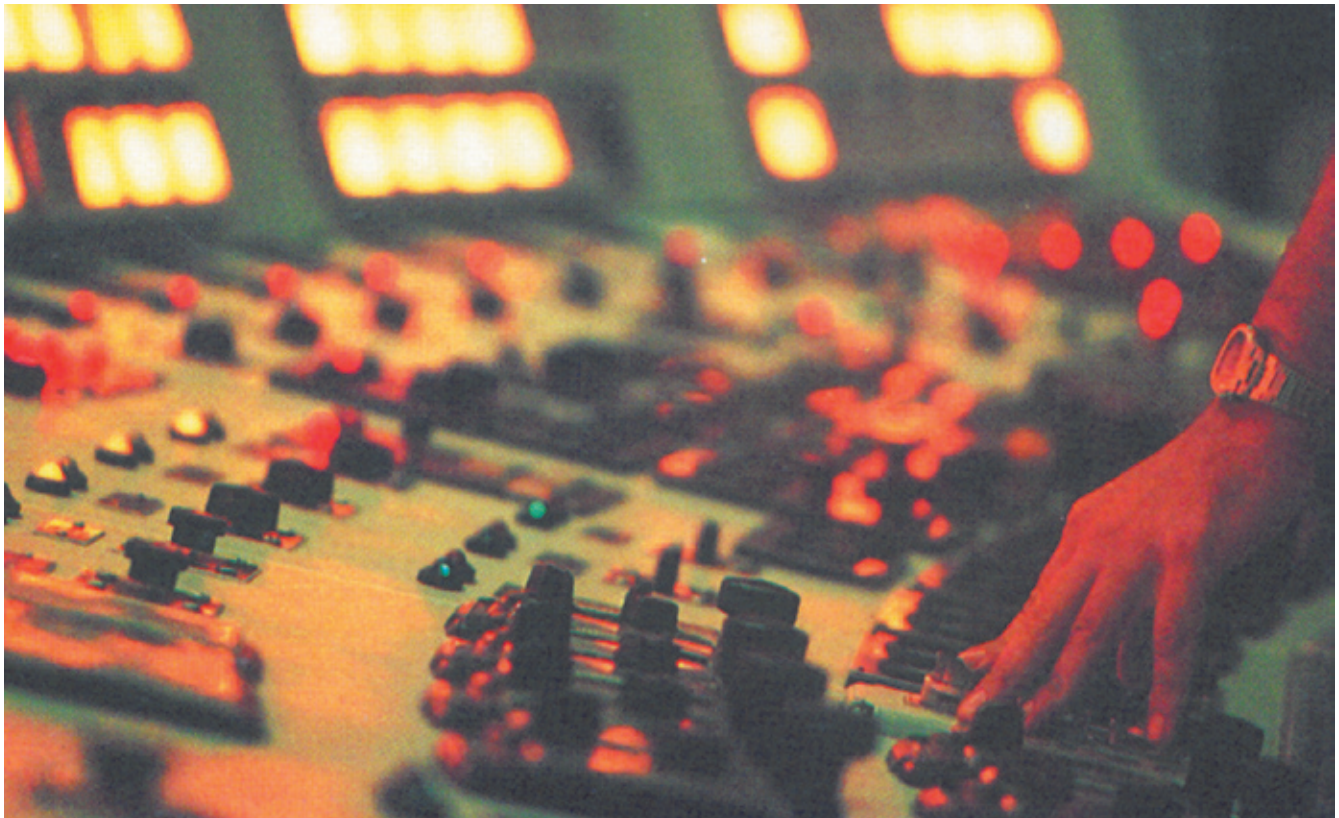


Problema de formación de lotes de fabricación en un sistema de manufactura flexible: Heurística de selección de partes

Problem of Training for lots in a Flexible Manufacturing System: Parts Selection Heuristics

PEDRO DANIEL MEDINA VARELA*
EDUARDO ARTURO CRUZ TREJOS**
JORGE HERNÁN RESTREPO CORREA***



* Ingeniero Mecánico, Ms.C. Profesor Auxiliar de la Universidad Tecnológica de Pereira. pemedin@utp.edu.co

** Ingeniero Industrial, Ms.C. Profesor Asistente de la Universidad Tecnológica de Pereira. ecruz@utp.edu.co.

*** Ingeniero Industrial, Ms.C. Profesor Asistente de la Universidad Tecnológica de Pereira. jhrestrepoco@utp.edu.co

Resumen

En el presente artículo se estudiará el problema de formar lotes compatibles de partes a fabricar dentro de un sistema de manufactura flexible, se supondrá que en un análisis anterior se determinaron las partes cuya fabricación en el sistema mostró viabilidad económica. Se describe de manera teórica la heurística de selección de partes y se complementará con la solución de un caso. Este artículo hace parte de los resultados de una investigación respecto al diseño de un laboratorio en sistemas de manufactura flexible que se realiza en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira. Los resultados obtenidos de la aplicación de esta heurística son tomados como insumo por la heurística de carga en la que se busca una asignación específica de operaciones y herramientas a máquinas.

Palabras clave: Asignación de operaciones, Balanceo de Cargas de Trabajo, Fecha de Entrega, Heurística de Selección de Partes, Lotes, Sistema de Manufactura Flexible.

Abstract

In this article we will examine the issue of forming lots of parties to manufacture within a flexible manufacturing system, it will be assumed that in an earlier analysis identified the parts manufactured in the system showed economic viability. It describes how theoretical heuristics for selecting parts and will be supplemented by the solution of a case. This article is part of the results of an investigation regarding the design of a laboratory in flexible manufacturing systems that are in the Faculty of Indus-

trial Engineering of the Universidad Tecnológica de Pereira. The results of applying this heuristic are taken as input for the Load Heuristics, which seeks a specific allocation of operations to machines and tools

Key words: Assigned operations, Balancing Work Loads, Batches, Due Dates, flexible manufacturing system, Parts Selection Heuristics.

Introducción

Históricamente el hombre siempre ha sentido la necesidad de producir elementos que permitan satisfacer sus requerimientos, de tal manera que su adaptación al contexto ambiental sea más eficiente. Los sistemas de producción de estos elementos han sufrido una substancial evolución, al pasar de procesos netamente artesanales a procesos altamente automatizados basados en soporte computacional.²

En los últimos años, las exigencias de los consumidores han cambiado de tal manera que las empresas han empezado a sufrir la llamada personalización del producto, que cambia el concepto de producción en masa a una producción en pequeños lotes, es en este contexto donde los sistemas de manufactura flexible surgen como una buena solución que permite la producción de pequeños lotes de forma ágil y económicamente viable.⁶

El término Sistema de Manufactura Flexible (SMF) es definido como un conjunto de máquinas y herramientas numéricamente controladas (CNC) y estaciones de soporte que están conectadas por un sistema automático de manejo de materiales y controlado por un computador central [2]. La definición anterior incluye los elementos claves de un SMF: (1) Máquinas au-

tomáticas reprogramables.(2) Cambio y entrega automática de herramientas, (3) Manejo automático de materiales tanto para transporte de partes entre estaciones de trabajo como para carga y descarga de material a las estaciones de trabajo, y (4) Control central.

De esta manera gran número de tipos de piezas pueden ser cargados de manera simultánea en el sistema debido a que las estaciones de trabajo tienen las herramientas e información necesaria para trabajar cualquier parte. Las partes pueden así arribar en cualquier secuencia a las estaciones de trabajo que conforman el Sistema de Manufactura Flexible.

El problema

Una vez el sistema está configurado para producción debe de ser operado. En este momento el principal aspecto a considerar es la asignación de operaciones y herramientas asociadas a máquinas. En este contexto se pueden estimar dos ambientes diferentes. En el primero, el conjunto de herramientas necesarias para la fabricación de

las partes asignadas al sistema es mayor que la capacidad de éste para almacenarlas, en este ambiente, solo se podrían considerar para producción un subconjunto de las partes inicialmente asignadas. A diferencia de este contexto en el segundo ambiente las máquinas en el sistema pueden almacenar las herramientas necesarias (ver Figura 1).

En el primer caso se hace necesario combinar las piezas en lotes. Un lote consta de una cantidad específica de cada tipo de parte que se fabricarán en un periodo determinado, además los diferentes lotes generados serán fabricados secuencialmente. El sistema es entonces configurado para manufacturar un lote, y cuando todas las partes que se programaron en ese lote se han terminado de fabricar, las máquinas serán preparadas de nuevo y se iniciará la producción del siguiente.

Teniendo en cuenta las fechas de entrega, los lotes se pueden formar para que se logre balancear las cargas de trabajo entre las estaciones, utilizando un periodo fijo de tiempo que podría ser un turno, un día o una semana. Es importante aclarar que todas las herramientas necesarias para la fabricación de los tipos de piezas que forman cada uno de los lotes deben ser cargadas en el momento del alistamiento inicial del sistema requerido para el inicio de la fabricación de cualquiera de éstos. Tan pronto como la fabricación de un tipo de pieza dentro de cualquier lote es finalizada, se inicia la manufactura de otro tipo de parte, y cualquier herramienta necesaria para la fabricación de ese tipo de pieza será cargada automáticamente por los elementos componentes del sistema.

Por lo tanto, el objetivo del problema de selección de piezas es la ubicación de las partes que se necesitan fabricar en lotes compa-

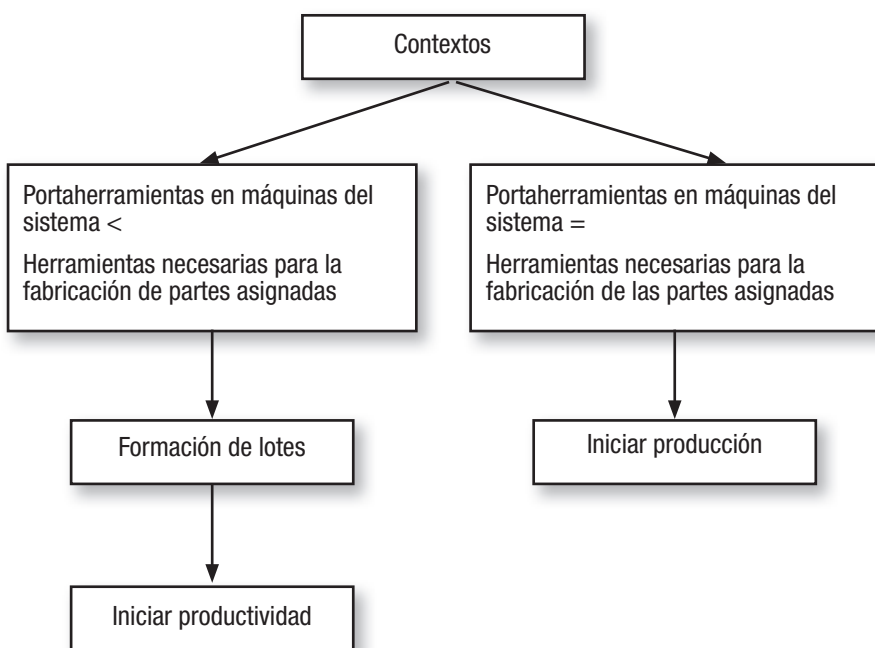


Figura 1. Contextos identificados en el alistamiento de un Sistema de Manufactura Flexible

tibles. Cada lote deberá usar todas las máquinas del sistema, requerir un número limitado de herramientas y las piezas que lo componen tener fechas de entrega similares.

Se puede plantear una heurística para la solución de este problema. Los parámetros a observar en esta serán.

d_i , Fecha de entrega del pedido realizado para la parte i

P_j , Tiempo disponible por máquina tipo j por periodo

p_{ij} , Tiempo unitario de producción por máquina tipo j si asigna el pedido de la parte i

K_j , Portaherramientas disponibles por máquina tipo j por periodo

T_j , Tiempo asignado a máquinas tipo j por periodo

k_j , Porta herramientas asignados a máquinas tipo j

m_j , Número de máquinas tipo j en el sistema

u_i , Número de unidades en el pedido de la parte i

La heurística de selección de partes es planteada como:

Paso 1

Ordenar los pedidos por las partes de acuerdo con su fecha de entrega, de manera ascendente, de tal forma que:

$$d_{[1]} \leq d_{[2]} \leq d_{[3]} \leq \dots \leq d_{[N]}$$

Ir a Paso 2

Paso 2

Asignar, según el orden orden'obtenido en el Paso 1, los pedidos al lote de tal manera que no se violen las restricciones de tiempo de procesamiento disponible para

maquinas tipo j por periodo y de portaherramientas disponibles para máquinas tipo j por periodo.

$$T_j < m_j P_j$$

Y

$$k_j < m_j K_j$$

Si el tiempo total de la parte siguiente a ser asignada es mayor al tiempo disponible para algunos de los tipos de máquina j , se puede analizar la posibilidad de fraccionar el pedido de esta parte de tal manera que en el lote actual se programe la mayor cantidad factible de unidades del pedido y la cantidad restante se programaría en el siguiente lote, lo anterior siempre y cuando se cuente con la cantidad de portaherramientas necesarios y disponibles en el tipo de máquina j . De lo contrario se abrirá un nuevo lote.

Si no se encuentra alternativa respecto a la ubicación en el lote actual de la siguiente parte a asignar ($n+1$) según el orden del Paso 1. Se analiza la asignación de las partes siguientes según el orden establecido ($n+2, n+3, \dots, N$). Entonces la parte $n+1$ se deberá asignar al inicio del siguiente lote. Lo anterior se realiza, siempre y cuando se cuente con los portaherramientas necesarios y disponibles en el tipo de máquina j para el lote actual.

Se debe abrir un lote nuevo cuando:

No hay tiempo disponible adicional en alguno de los tipo de maquina j , ó.

No existen portaherramientas disponibles en alguno de los tipos de máquina j y las partes que aun no se han asignado requiere una herramienta diferente a las ya venidas.

1 Los empates se romperán de acuerdo con el tiempo total de producción necesario en el sistema para la parte i , donde el tiempo total de producción necesario en el sistema para la parte i se calculará como $\sum_i u_i p_i$

La heurística finaliza en el momento que se hayan asignado todos los pedidos a alguno de los lotes generados.

El caso

Se deben de programar seis pedidos que cubren cinco tipos de partes diferentes para ser producidos en un sistema de manufactura flexible que cuenta con dos tipos de máquinas distintos. El sistema está compuesto por tres máquinas de tipo A y una de tipo B. Las máquinas son alistadas una vez al día y deben de estar disponibles para una producción de 12 horas continuas por día. Ambos tipos de máquinas poseen dos portaherramientas, por lo tanto son capaces de almacenar dos herramientas cada una. La letra inicial en el nombre de la herramienta indica la herramienta requerida. El objetivo es programar los lotes que se producirán en los siguientes días. Los datos del problema se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos del problema

Tipo de parte	Tamaño de la orden	Fecha de entrega	Tiempo de procesamiento por unidad (hrs)		Herramientas
			Máquina tipo A	Máquina Tipo B	
a	10	4	0,3	0,2	A1, B2
d	10	1	0,1	0,2	A1, B2
e	4	2	0,3	0,2	A5, B3
a	5	0	0,1	0,3	A1, B2
b	10	1	1,2	0,0	A2
c	25	1	0,7	0,4	A3, B4

Tabla 2. Pedidos ordenados según fecha de entrega

Tipo de parte	Tamaño de la orden	Fecha de entrega	Tiempo de procesamiento por unidad (hrs)		Herramientas
			Máquina tipo A	Máquina Tipo B	
a	5	0	0,1	0,3	A1, B2
c	25	1	0,7	0,4	A3, B4
b	10	1	1,2	0,0	A2
d	10	1	0,1	0,2	A1, B2
e	4	2	0,3	0,2	A5, B3
a	10	4	0,3	0,2	A1, B2

Planteamiento de la solución

Paso 1: Ordenamiento

La heurística de selección de partes, plantea en el paso inicial el ordenamiento de manera creciente los pedidos según su fecha de entrega, la tabla ordenada según este criterio se muestra en la Tabla 2. Para los pedidos que tengan la misma fecha de entrega, se usa como criterio de desempate el tiempo total de producción en el sistema. Los tiempos de producción en el sistema para los pedidos realizados para las partes que se deben de entregar la fecha 1 (partes b, c y d) son:

Tiempo de producción del pedido parte b = $10 \times 1.2 = 12$ horas

Tiempo de producción del pedido parte c = $25 \times (0.7 + 0.4) = 27.5$ horas

Tiempo de producción del pedido parte d = $10 \times (0.1 + 0.2) = 3$ horas

Paso 2. Asignación de pedidos a lotes

Iteración 1 – Lote 1

Para la presentación de este paso se hará uso de líneas de tiempo y de herramientas para cada tipo de máquina, de manera que se pueda observar más didácticamente la evolución en el uso de estos dos recursos. Las líneas de tiempo y de herramientas para las máquinas tipo A deben tener una longitud de 36 horas y 6 herramientas, respectivamente, debido a que el sistema cuenta con 3 máquinas de ese tipo. Por otro lado, las líneas de tiempo y de herramientas para las máquinas tipo b deben representar una longitud de 12 horas y 2 herramientas, respectivamente, debido a que el sistema cuenta con solo una máquina de ese tipo.

Según el orden establecido en la Tabla 2, el primer pedido que se debe de programar en el primer lote es el

correspondiente al pedido de la parte *a* que debe de ser entregado en la fecha más cercana. Pedido que requiere 0.5 horas en la máquina tipo A y 1.5 horas en la máquina B, además de la necesidad de programar las herramientas A1 y B2. Las líneas de tiempo y herramientas que representa la situación se muestran en la Figura 2.

Iteración 2 - Lote 1

En esta segunda iteración se asigna al Lote 1, el pedido realizado por la parte *c*. Pedido que requiere un total de 17.5 horas en el tipo de máquina A y 10 horas en el tipo de máquina B, además de exigir la ubicación en los portaherramientas de las herramientas A3 y B4. Como se puede observar de la Figura 2, en ambos tipos de máquinas existe espacio temporal y de herramientas suficiente para aceptar esta asignación. Esta iteración se ve resumida en la Figura 3.

Iteración 3 – Lote 1

Se asigna el pedido por la parte *b*. Pedido que requiere de 12 horas disponibles en la máquina tipo A y la ubicación de la herramienta A2. Como se puede observar (ver Figura 3) el tipo de máquina requerido por la parte *b* tiene disponibilidad suficiente de recursos para que se asigne esta pieza al lote que se encuentra en formación. Los recursos del tipo de máquina B no sufren ninguna modificación porque la pieza que se programa no hace uso de ellos. Esta iteración se ve resumida en la Figura 4.

Iteración 4 – Lote 1

El siguiente pedido a programar debe ser el correspondiente al de la parte *d*, sin embargo su programación completa requeriría de tener disponibilidad de 1 hora y 2 horas en las máquinas tipo A y B respectivamente. Además de contar con espacios para las herramientas A1 y B2, la programación de este pedido no tendría ningún impedimento desde el punto de vista de las herramientas, pues no se haría necesario



Figura 2. Iteración 1 de paso 2 de Heurística de Selección de Partes

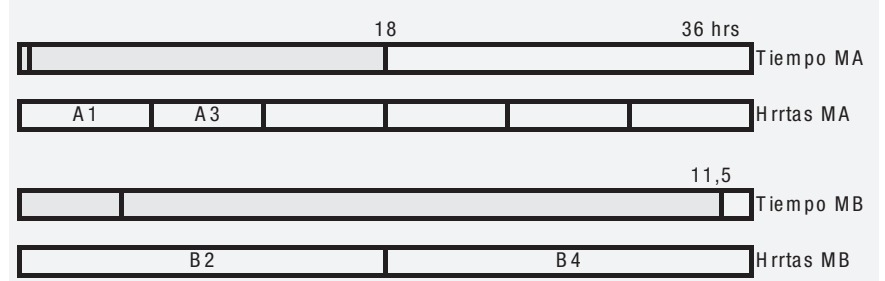


Figura 3. Iteración 2 de paso 2 de heurística de selección de partes

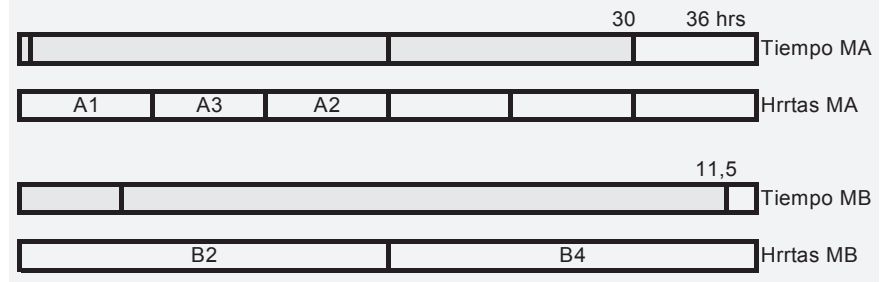


Figura 4. Iteración 3 de paso 2 de heurística de selección de partes

el uso de portaherramientas adicionales dado que las herramientas A1 y B2 ya fueron programadas en una iteración anterior.

Aquí el inconveniente es que no existe tiempo suficiente en la máquina tipo B para admitir la programación completa del pedido. Para estos casos la heurística permite que el pedido sea fraccionado de tal manera que en el lote actual se pueda fabricar el mayor número posible de piezas que lo componen, dejando la fracción restante para ser programada en el lote inmediatamente siguiente. En este caso, el tiempo disponible en la máquina tipo B solo permite la

programación de 2 unidades de un total de 10 unidades solicitadas de la parte tipo *d*. Esta iteración se ve resumida en la Figura 5.

En este momento el lote 1 debe de ser cerrado, pues ninguno de los dos pedidos siguientes (parte *e* y segundo pedido por parte *a*) pueden ser programados de manera completa o fraccionada. El pedido por la parte *e*, requiere un mínimo de 0.2 horas disponibles en máquina tipo B en la fabricación de una unidad, tiempo que no se encuentra realmente libre, por otro lado, la programación de este pedido exigiría la ubicación de la herramienta B3, espacio que no se encuentra vacío

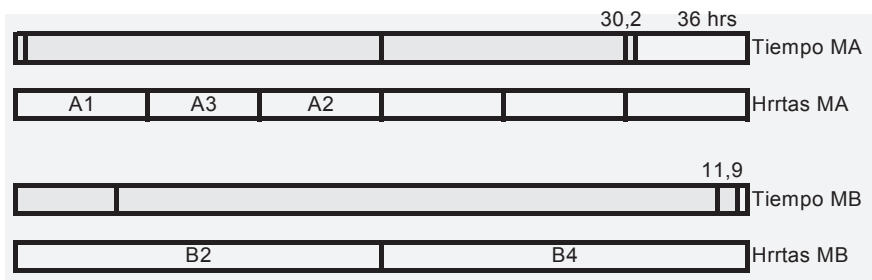


Figura 5. Iteración 4 de paso 2 de heurística de selección de partes

pues los dos portaherramientas con los que cuenta este recurso ya están ocupados por las herramientas B2 y B4. Mientras tanto, el segundo pedido por la parte “A”, requeriría del mismo tiempo disponible en igual tipo de máquina, recurso que no se halla libre.

Iteración 5 – Lote 2

El lote 2 debe iniciar con la fracción del pedido realizado por la parte *d*, que no fue posible programar en el lote anterior. Esto significa que se deben programar las 8 unidades restantes del pedido original de 10 unidades, es decir programar 0.8 horas en las máquinas tipo A y 1.6 horas en la máquina tipo B, junto con las herramientas A1 y B2. Esta iteración se ve resumida en la Figura 6.

Iteración 6 – Lote 2

En esta iteración debe programarse el pedido realizado por la parte *e*, el cual requiere 1.2 horas en las máquinas tipo A y 0.8 horas en la máquina tipo B. Además de la ubicación en los portaherramientas de las herramientas A5 y B3, para las máquinas tipo A y B respectivamente. Como se puede observar,

en la Figura 6 hay disponibilidad de ambos recursos. Esta iteración se ve resumida en la Figura 7.

Iteración 7 – Lote 2

En esta iteración debe programarse el segundo pedido realizado por la parte *a*, el cual requiere 3 horas en las máquinas tipo A y 2 horas en la máquina tipo B. Además de la ubicación en los portaherramientas de las herramientas A1 y B2, para las máquinas tipo A y B respectivamente. Como se puede observar en la Figura 6 hay disponibilidad de ambos recursos, además de que las herramientas a ubicar ya fueron asignadas en una iteración anterior. Esta iteración se ve resumida en la Figura 8.

Como mostró el procedimiento seguido, se logró programar todos los pedidos en dos lotes que serán fabricados según las condiciones del caso en igual número de días. La Tabla 3 resume el procedimiento planteado por la Heurística de Selección de Partes.

Los resultados anteriores sirven como insumo para la posterior aplicación de la Heurística de Carga en

la que se busca ya la asignación específica de operaciones (necesarias para la fabricación de cada una de las piezas) y herramientas asociadas a máquinas.

Conclusiones y recomendaciones

La heurística de carga muestra ser una metodología fácil para la programación de la producción dentro del contexto de un Sistema de Manufactura Flexible. Es lo suficientemente adaptable como para permitir la programación de un pedido de manera completa o fraccionada, lo que garantiza alcanzar un alto porcentaje de utilización de los recursos productivos. Como se puede ver en la Tabla 4, el porcentaje de utilización de la maquinaria generado por el lote 1, corresponde a 83.89% y 99.17% para los tipos de máquinas A y B, respectivamente. En cuanto al bajo porcentaje de utilización generado por el lote 2, este se explica por la falta de pedidos a programar, dejando el espacio no utilizado para la posible llegada de nuevas solicitudes.

Otro aspecto importante de la heurística es la relevancia que presta al uso balanceado de recursos, buscando el equilibrio en la carga de trabajo asignada a cada una de las estaciones de trabajo. La Tabla 4 muestra el uso relativamente balanceado de los recursos A y B a través de los porcentajes de utilización de magnitud muy parecida obtenidos en el lote 1. La mayor diferencia en lo obtenido para el lote 2 se puede explicar por la misma razón que la expuesta para el bajo porcentaje de utilización de los recursos.

La heurística de selección de partes no se enfoca a la asignación de partes, operaciones y herramientas a máquinas específicas, ellas solo se concentran en determinar los piezas y las cantidades a fabricar de acuerdo con unas fechas de entrega previamente establecidas, buscando

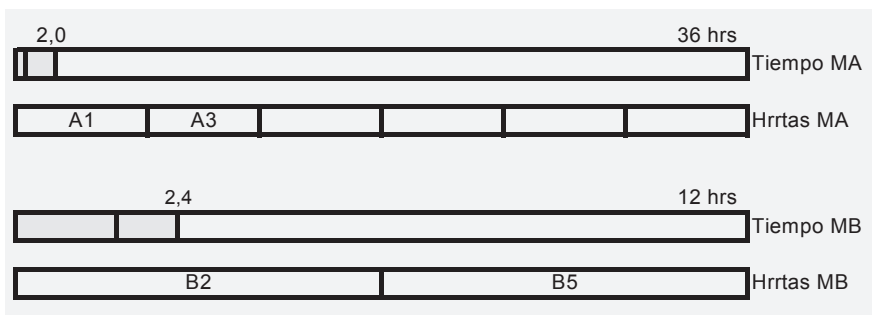


Figura 6. Iteración 5 de paso 2 de heurística de selección de partes



Figura 7. Iteración 6 de paso 2 de heurística de selección de partes

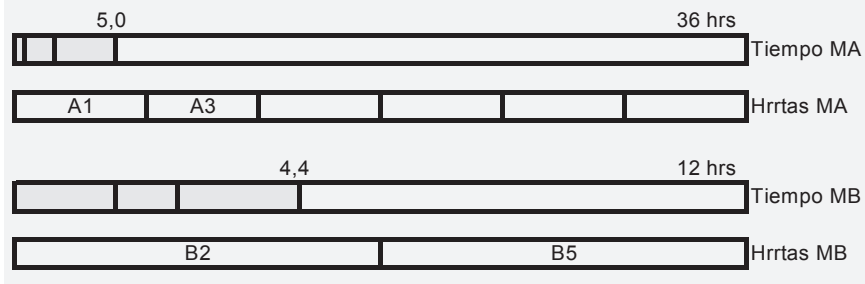


Figura 8. Iteración 7 de paso 2 de heurística de selección de partes

Tabla 3. Tabla de resumen de aplicación de heurística de selección de partes

Iteración	Parte asignada	Lote	Tiempo asignado acumulado (hrs)		Herramienta asignada acumulada	
			Máquina Tipo A	Máquina tipo B	Máquina Tipo A	Máquina Tipo B
1	a	1	0,5	1,5	A1	B2
2	c	1	18	11,5	A1, A3	B2, B4
3	b	1	30	11,5	A1, A3, A2	B2, B4
4	d (2/10)	1	30,2	11,9	A1, A3, A2	B2, B4
5	d (8/10)	2	0,8	1,6	A1	B2
6	e	2	2	2,4	A1, A3	B2, B5
7	a	2	5	4,4	A1, A3	B2, B5

Tabla 4. Porcentajes de utilización de los dos Tipos de Máquinas.

Lote	% de utilización	
	Máquina Tipo A	Máquina Tipo B
1	83,89%	99,17%
2	13,89%	36,67%

altos porcentajes de utilización de los recursos y el balance en el uso de éstos. ⚙️

Bibliografía

(1) Andrea Krasa, Sethi y Pal Sethi, Suresh. Flexibility in Manufacturing: A Survey. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. Vol 2. pag 289 – 328. 1990.
 (2) Askin, Ronald G. y Goldberg, Jeffrey B. Design and Analysis of Lean

Production Systems. Jhon Wiley & Sons. 2001.
 (3) Askin, Ronal G. y Standridge, Charles R. Modeling and Analisis of Manufacturing Systems. Jhon Wiley & Sons. 1998.
 (4) Ferre MASIP, Rafael. La Fábrica Flexible. Productica. Marcombo Boixareu Editores. 1988.
 (5) Freeman, Brad. The Hp Deskjet: Flexible Assembly and Design for

Manufacturability. *CIM Review*. Vol 7 No 1. Pags 50 – 55. 1990.
 (6) Irani, Shahruk. Hanbook of Cellular Manufacturing Systems. Jhon Wiley & Sons. 2002.
 (7) Jones, Albert y McLean, Charles. A Proposed Hierarchical Control Model for Automated Manufacturing Systems. *Journal of Manufacturing Systems*. Vol 5 No 1. pp 15 – 25. 1986.
 (8) Levasseur, Gerald. An Applications-Oriented Procedure for Cell Formation. *Production and Inventory Management Journal*. First Quarter 1996. pp 7 – 11.
 (9) Medina, P; Cruz. A y Restrepo, J. Problema de Programación de Operaciones y Herramientas en un Sistema de Manufactura Flexible: Heurística de Carga Fase I. *Revista el Hombre y la Máquina*. Año XX. Número 30. Enero – Junio 2008. Universidad Autónoma de Occidente. pp 100 – 107.
 (10) Medina, P; Cruz. A y Restrepo, J. Problema de Programación de Operaciones y Herramientas en un Sistema de Manufactura Flexible: Heurística de Carga Fase II. *Scientia et Technica*. Año XIV, No 38, Junio de 2008. Junio 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. pp 247 – 252.
 (11) The productivity development team. Cellular Manufacturing: One-Piece For for Workteams. Shopfloor Series. Productivity Press. 1999.
 (12) Nabil, Nasr y Elsayed, E. A. Job Shop Sheduling whit Alternatives Machines. *International Journal of Production Research*. Vol 28, No 9. Pags 1505 – 1609. 1990.
 (13) Schonberger, Richard. Manufactura de clase mundial: Aplicación de las últimas técnicas para optimizar la producción. Grupo Editorial Norma. 1989.
 (14) Stecke, Kathryn y KIM Ilyong. A Study of FMS Part Type Selection Approaches for Short-Term Production Planning. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. Vol 1 No 1. pags 7 – 29. 1988.