



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



Quiébranos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia

Patrimonio del Estado Zulia e
interés Cultural desde 2001

Fecha de Construcción:
1954-1958

Diseño: Arquitecto Carlos Raúl
Villanueva, con elementos
novedosos de adaptación
climática.

Policromía de la obra: Artista
Zuliano Víctor Valera.

Evaluation of the solution obtained with a sequencing metaheuristic by incorporating elements of variability.

Lagos Dafne* , Mancilla Rodrigo , Leal Paola 

Departamento de Procesos Industriales, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco, Rudecindo Ortega # 02950, Temuco, Chile.

*Autor Contacto: dlagos@uct.cl

<https://doi.org/10.22209/rt.ve2019a09>

Recepción: 20/06/2019 | Aceptación: 03/11/2019 | Publicación: 01/12/2019

Abstract

This work addresses the problem of machine sequencing in an environment of a spinning room. To obtain the initial sequencing, a mathematical model was considered whose objective is to minimize the final completion time of all tasks (Makespan) based on Dannengring's heuristics. Once the initial sequencing is obtained, its performance is evaluated through simulation of discrete events by first adding the variability of the order sizes, and subsequently incorporating the variability of the service times of the workshops. The observed results indicate that the model that is constructed with constant data generates a smaller Makespan than the one that incorporates the variability within the analysis; on the other hand, the average indicators (Makespan, Units processed, Units in system) of the evaluation of the model with the variability in the size of the order, and of the model that also incorporates the variability of the service time are very similar presenting a difference of 12% in the variance.

Keywords: simulation; sequencing; makespan.

Evaluación de la solución obtenida con una metaheurística de secuenciamiento mediante la incorporación de elementos de variabilidad

Resumen

Este trabajo aborda la problemática del secuenciamiento de máquinas en un ambiente de una sala de hilandería. Para la obtención del secuenciamiento inicial, se consideró un modelo matemático cuyo objetivo es minimizar el tiempo final de terminación de todas las tareas en base a la heurística de Dannengring. Una vez obtenido el secuenciamiento inicial, se evalúa su desempeño a través de simulación de eventos discretos agregando en primer lugar la variabilidad de los tamaños de pedidos, e incorporando posteriormente la variabilidad de los tiempos de servicio de los talleres de trabajo. Los resultados observados indican que el modelo que se construye con datos constantes genera un Makespan menor que aquel que incorpora la variabilidad dentro del análisis; por otro lado, los indicadores medios (Makespan, Unidades procesadas, Unidades en sistema) de la evaluación del modelo con la variabilidad en el tamaño del pedido, y del modelo que además incorpora la variabilidad del tiempo de servicio son muy similares presentando una diferencia de varianza de un 12%.

Palabras clave: simulación; Secuenciamiento; makespan.

Introducción

El hilado industrial es un proceso basado en operaciones medianamente complejas, en el cual las fibras textiles, ya sean naturales o artificiales, se tejen para crear un nuevo cuerpo textil fino, alargado, resistente y flexible llamado hilo. Es lógico pensar que con la incorporación de herramientas tecnológicas se vuelve una operación cada vez más compleja y más precisa, perfeccionando la hilandería clásica y especializándola en la fabricación de productos cada vez más definidos que son requeridos por motivos económicos y para fines textiles concretos. En base a esto, programar las máquinas en las salas de hilandería es una tarea compleja que ha sido abordada por diversos autores. Chen [1] propone una heurística para minimizar el tiempo de finalización de la tarea sujeto al mantenimiento periódico y las fechas de vencimiento en una compañía textil asiática. Azadeh, A y otros [2], presentan un algoritmo combinado de simulación por computadora, programación de objetivos y diseño de experimento para resolver un problema de programación del taller de teñido, impresión y acabado de textiles de una industria iraní, que busca minimizar la tardanza y el makespan.

Dado que un proceso productivo puede ser continuo o discontinuo, el secuenciamiento de tareas dentro de un taller de manufactura puede desarrollarse a través de dos enfoques: el JobShop Scheduling Problem y el FlowShop Scheduling Problem. El problema de secuenciamiento en configuración Jobshop se refiere a asignar operaciones de diversos trabajos a un conjunto de equipos disponibles de forma intermitente o discontinua. La asignación mencionada busca generalmente minimizar el tiempo de culminación de todos los trabajos conocido en la literatura como 'makespan' [3]. Por otro lado, el secuenciamiento de Flowshop se define como un problema de flujo de etapas múltiples con múltiples máquinas paralelas cuyo objetivo puede ser minimizar el tiempo de los trabajos, maximizar la cantidad de trabajos realizados o una combinación de ambos en un modelo multiobjetivo [4]. Este ambiente se caracteriza por un conjunto de m máquinas o conjuntos de máquinas, dispuestas en serie o de forma continua. La resolución de este tipo de problemas ha sido ampliamente estudiada en los últimos años [5][6][7][8][9][3] pudiendo organizar las formas de búsqueda de solución en 4 grandes grupos: Métodos exactos, heurísticas deterministas, enfoques metaheurísticos y enfoques híbridos [4].

Ahora bien, la naturaleza intrínsecamente variable de los procesos reales hace necesario que las soluciones incorporen este factor. En esta línea, la simulación y particularmente la simulación de eventos

discretos, se convierte en una herramienta que ayuda a medir los efectos que la variabilidad ocasiona sobre un resultado obtenido a partir de datos constantes. [10] [11] [12]

En este trabajo, se busca medir la eficiencia del resultado del FlowShop Scheduling Problem, obtenido mediante la heurística Dannengring, al incorporar la variabilidad en los tiempos de servicio y los tamaños de los pedidos secuenciados. De acuerdo a ello este artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 describe la metodología y los supuestos considerados. En la sección 3 se presentan y analizan los resultados obtenidos. Finalmente, la sección 4 entrega las conclusiones.

Materiales y Métodos

El proceso de análisis parte con la solución de secuenciamiento que se obtiene en una sala de hilandería. Para ello, se consideró el proceso productivo que abarca desde la fase del mezclado de fibras (previamente preparadas) para formar el color deseado del hilo, hasta la etapa de torsión y estiramiento que permite generar el hilo del grosor requerido (título del hilo). Cualquiera sea el título y color del hilo, la ruta tecnológica (máquinas del proceso) es exactamente la misma. El diagrama de flujo general, y la cantidad de máquinas que operan en paralelo,



Figura 1. Diagrama de flujo y cantidad de máquinas del proceso productivo.

Para el proceso de secuenciamiento se agruparon las estaciones de trabajo, en talleres de trabajo. Las estaciones 1, 2, 3, 4 y 5, pasaron a conformar cada una, los talleres 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente. La estaciones 6, 7, 8 y 9, se agruparon y conformaron el taller 6, y las estaciones 10 y 11 se juntaron para conformar el taller 7. La aleatoriedad de los talleres considera un coeficiente de variación de 0,25 para las estaciones 1, 2, 6 y 7, y para las estaciones 3, 4 y 5, el coeficiente de variación es de 0,15.

Por su parte, la variabilidad en los kilos de hilo contenidos en cada pedido (o trabajo), de un total de 36 usados en el análisis, está descrita en la Tabla 1.

Tabla 1. Tamaño (en kilos) de cada pedido.

Pedido	Tamaño			Pedido	Tamaño		
	Mín.	Medio	Máx.		Mín.	Medio	Máx.
1	450	500	550	19	770	1000	1230
2	450	500	550	20	115,5	150	184,5
3	67,5	75	82,5	21	57,75	75	92,25
4	540	600	660	22	385	500	615
5	246	300	354	23	385	500	615
6	246	300	354	24	115,5	150	184,5
7	410	500	590	25	770	1000	1230
8	410	500	590	26	462	600	738
9	410	500	590	27	115,5	150	184,5
10	61,5	75	88,5	28	385	500	615
11	246	300	354	29	276	300	324
12	123	150	177	30	138	150	162
13	492	600	708	31	276	300	324
14	410	500	590	32	460	500	540
15	385	500	615	33	138	150	162
16	770	1000	1230	34	950	1000	1050
17	231	300	369	35	142,5	150	157,5
18	115,5	150	184,5	36	475	500	525

Para la obtención del secuenciamiento inicial, se consideró un modelo matemático cuyo objetivo es minimizar el tiempo final de terminación de todas las tareas, es decir, lograr obtener el Makespan mínimo. Este se logra al tener la máxima utilización de las máquinas. La variable X_{ij} considerada dentro de este modelo es de tipo binario, donde el valor 1 de la variable implica que la tarea i es desarrollada en la máquina j , mientras que el valor 0 implica la tarea i no es desarrollada en la máquina j .

Dentro de las restricciones tomadas en consideración para el secuenciamiento inicial está i) el garantizar que cada máquina pueda realizar un trabajo asociado a una tarea en específico a la vez, es decir, la máquina está o no trabajando, pero no puede tener dos trabajos en simultáneo; ii) garantizar la precedencia de la ejecución de las tareas. En este sentido, la producción del hilo requiere del desarrollo consecutivo de un conjunto de tareas en distintas máquinas. Ante esto, se define el tiempo de inicio de cada trabajo en cada máquina del proceso. Por cada trabajo X_{ij} existe un tiempo de inicio de trabajo Y_{ij} . En cada etapa del proceso una tarea de la etapa E_i no se puede comenzar hasta que haya completado la tarea de la etapa E_{i-1} .

Una vez obtenido el secuenciamiento inicial, se evalúa su desempeño a través de simulación de eventos discretos agregando en primer lugar la variabilidad de los tamaños de pedidos, e incorporando posteriormente la variabilidad de los tiempos de servicio de los talleres de trabajo.

Resultados y Discusión

Para la obtención del secuenciamiento inicial se utilizó la heurística Dannengring disponible en el Software WinQSB, tomando en consideración un total de 36 trabajos (o pedidos) que se deben procesar, con un tamaño inicial igual al tamaño medio descrito en la Tabla 1, y sin variabilidad. El objetivo del secuenciamiento era la minimización del Makespan, y el resultado se presenta en la Tabla 2. La columna *orden* indica la regla de prioridad con la que se debe fabricar cada pedido. Las casillas que están en las columnas de la heurística, indican el trabajo (o pedido) que se debe procesar en la etapa (orden) n .

Tabla 2. Secuenciamiento de 36 trabajos con la heurística Dannengring.

Orden	Heurística Dannengring	Orden	Heurística Dannengring	Orden	Heurística Dannengring
1	Pedido 3	13	Pedido 29	25	Pedido 16
2	Pedido 10	14	Pedido 11	26	Pedido 25
3	Pedido 12	15	Pedido 9	27	Pedido 34
4	Pedido 24	16	Pedido 23	28	Pedido 2
5	Pedido 30	17	Pedido 15	29	Pedido 14
6	Pedido 33	18	Pedido 28	30	Pedido 22
7	Pedido 27	19	Pedido 32	31	Pedido 19
8	Pedido 35	20	Pedido 8	32	Pedido 4
9	Pedido 31	21	Pedido 7	33	Pedido 1
10	Pedido 17	22	Pedido 36	34	Pedido 20
11	Pedido 5	23	Pedido 13	35	Pedido 21
12	Pedido 6	24	Pedido 26	36	Pedido 18

El secuenciamiento descrito, presentó un valor de Makespan, igual a 364 horas con desviación estándar igual a cero, debido al uso de valores constantes en el análisis.

En base al secuenciamiento descrito en la Tabla 2, se generó una simulación de eventos discretos que incorporó inicialmente la variabilidad del tamaño de los pedidos, y luego se agregó la variabilidad de los tiempos de servicio, sin cambiar el orden ya secuenciado. El resultado de los indicadores de la simulación se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Indicadores obtenidos al incorporar la variabilidad del tamaño del pedido y de los tiempos de servicio.

Indicadores	Con variabilidad en el tamaño de pedido		Con variabilidad en el tamaño de pedido y tiempo de servicio	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
Makespan (hora)	389,684	4,471	389,717	5,022
Unidades procesadas	14985,600	171,946	14986,920	193,165
Unidades en sistema	4056,705	92,841	4057,528	104,389

Los resultados indican que al incorporar la variabilidad dentro del proceso de análisis, el Makespan aumenta. Para el caso que incorpora la variabilidad en el tamaño del pedido, el aumento fue de 25,684 horas, lo que representa un 7,056%. Las cifras fueron muy similares cuando se consideró la variabilidad del tamaño del pedido y del tiempo de servicio.

Al observar los indicadores medios del sistema que incorporan solo la variabilidad del tamaño del pedido, frente al que además incluye la variabilidad del tiempo de servicio, estos son prácticamente iguales. La diferencia más notable entre estos dos casos está en el aumento de la desviación estándar, en 12%.

Conclusiones

Un secuenciamiento que se construye con datos constante genera un Makespan menor que aquel que incorpora la variabilidad dentro del análisis.

Los indicadores medios (Makespan, Unidades procesadas, Unidades en sistema) de la evaluación del modelo con la variabilidad en el tamaño del pedido, y del modelo que además incorpora la variabilidad del tiempo de servicio son muy similares.

La varianza de los indicadores (Makespan, Unidades procesadas, Unidades en sistema) es un 12% mayor cuando se incorpora la variabilidad en el tamaño del pedido y del tiempo de servicio, que cuando solo se considera la variabilidad del tamaño del pedido.

Referencias Bibliográficas

- [1] Chen W.J.: Scheduling with dependent setups and maintenance in a textile company. *Comput. Ind. Eng.*, Vol. 57, No. 3 (2009) 867–873.
- [2] Azadeh A., Ghaderi S.F., Dehghanbaghi M. and Dabbaghi A.: Integration of simulation, design of experiment and goal programming for minimization of makespan and tardiness. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 46, No. 5–8 (2010) 431–444.
- [3] Perez R., Joens S. and Hernandez A.: Solution of a flexible jobshop scheduling problem using an Estimation of Distribution Algorithm. *Rev. Iberoam. Autom. E Inform. Ind.*, Vol. 12, No. 1 (2015) 49–57.
- [4] Lee T. and Loong Y.: A review of scheduling problem and resolution methods in flexible flow shop. *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, Vol. 10, No. 1 (2019) 67–88.
- [5] Li X. and Gao L.: An effective hybrid genetic algorithm and tabu search for flexible job shop scheduling problem. *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 174 (2016) 93–110.
- [6] Ying K., Lu C. and Lin S.: Improved Exact Methods for Solving No-Wait Flowshop Scheduling Problems With Due Date Constraints. *IEEE Access*, Vol. 6 (2018) 30702–30713.
- [7] Wang Y., Li X. and Ma Z.: A Hybrid Local Search Algorithm for the Sequence Dependent Setup Times Flowshop Scheduling Problem with Makespan Criterion. *Sustainability*, Vol. 9, No. 12 (2017).
- [8] Pan Q., Gao L., Wang L., Liang J. and Li X.: Effective heuristics and metaheuristics to minimize total flowtime for the distributed permutation flowshop problem. *Expert Syst. Appl.*, Vol. 124 (2019) 309–324.
- [9] Gu M., Lu X., and Gu J.: An asymptotically optimal algorithm for large-scale mixed job shop scheduling to minimize the makespan. *J. Comb. Optim.*, Vol. 33, No. 2 (2017) 473–495.
- [10] Zhou E., Zhu J. and Deng L.: Flexible job-shop scheduling based on genetic algorithm and simulation validation. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 100 (2017).
- [11] Pérez-Rodríguez R., Jöns S., Hernández-Aguirre A. and Alberto-Ochoa C.: Simulation optimization for a flexible jobshop scheduling problem using an estimation of distribution algorithm. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 73, No. 1–4, (2014) 3–21.
- [12] Guo B., Xu L. and Yang Q.: A production scheduling method based on interactive simulation and expert system. *ICTE 2011 - Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation Engineering*, (2011) 482–487.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen Especial, 2019, No. 1, pp. 154 - 262 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2019, por el **Fondo Editorial Serbiluz, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela***

**www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientificaluz.org**