

ULL

Universidad
de La Laguna

SEMINARIO

**DECISIÓN,
OPTIMIZACIÓN Y
SISTEMAS
INTELIGENTES**





UNA APLICACIÓN DE UN PROBLEMA DE SECUENCIACIÓN EN UNA EMPRESA EN EL NORTE DE MÉXICO

Irma Delia García Calvillo

Universidad Autónoma de Coahuila

Angelina Sifuentes, Edgar Reséndiz, Efraín Ruíz

Instituto Tecnológico de Saltillo

Julio 2019

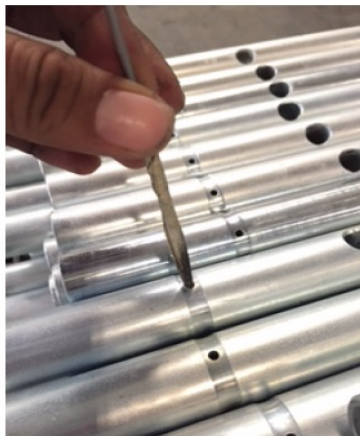
- Introducción: el problema de la empresa
- Obtención de datos
- FJSP: modelo y solución
- Resultados del modelo en el problema práctico
- Implementación de resultados y mejoras
- Conclusiones

Introducción: el problema de la empresa

El caso de aplicación se desarrolla en una empresa manufacturera de partes metal-mecánicas para la industria agropecuaria. La compañía emplea 21 personas, la planta produce 720 000 unidades anuales y genera ventas de 2.5 millones de dólares.

El problema se centra en la fabricación de perno de seguridad para cargadoras.

Introducción: el problema de la empresa



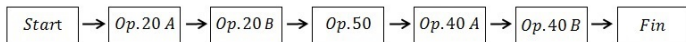
Introducción: el problema de la empresa

- Se cuenta con un sistema de flujo del tipo push.
- El sistema tiene 9 operaciones:
 - 5 requieren del uso de máquinas,
 - una es un proceso externo y
 - 3 son manuales.
- Todas las máquinas son semi-automatizadas y requieren de la interacción con un operador.
- Existe precedencia en las operaciones.
- Para realizar la operación externa se requieren mínimo 3000 piezas:
Se trabaja con 2 órdenes de trabajo de 1500 piezas.
- Se trabaja por lotes de 250 piezas.

5 operaciones en máquinas.

Introducción: el problema de la empresa

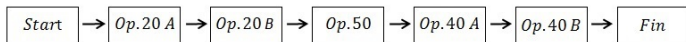
- Para la realización de la pieza, la planta está equipada con 3 tornos horizontales, 3 centros de maquinado verticales y 2 roscadores para su uso exclusivo: 8 máquinas en total.
- La secuencia para fabricar una pieza es la siguiente:



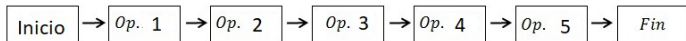
→ *Precedencia Obligatoria*

Introducción: el problema de la empresa

- Para la realización de la pieza, la planta está equipada con 3 tornos horizontales, 3 centros de maquinado verticales y 2 roscadores para su uso exclusivo: 8 máquinas en total.
- La secuencia para fabricar una pieza es la siguiente:

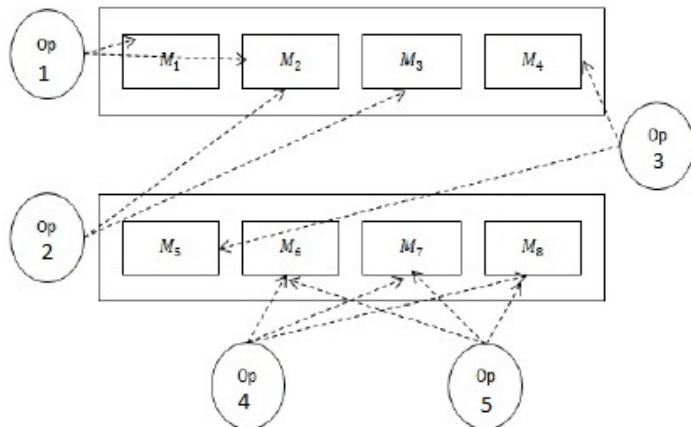


→ Precedencia Obligatoria



Introducción: el problema de la empresa

Relación máquinas operaciones



Situación año 2016:

- Se emplea 18.5 días aproximadamente en elaborar 3000 piezas en el proceso en las máquinas, esto es, 5 operaciones y 8 máquinas.
- Se fabrican en total este año 52878 piezas.
- Se paga en total este año 1436 horas extra para poder cumplir con la demanda y la satisfacción al cliente.

- Se desea disminuir el tiempo de fabricación y el pago de horas extra en este proceso.

- Escenario 2016: Lotes de 250 piezas, 5 operaciones y 8 máquinas.

Los tiempos de procesamiento por lote en horas, son los siguientes:

<i>Op.</i>	<i>Maquinas</i>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	9.26	10.00						
2		10.00	10.00					
3				2.43	2.43			
4						6.94	6.94	10.42
5						6.94	6.94	10.42

- El problema se puede modelar como un FJSP: Flexible Job Shop Scheduling Problem.
- FJSP es una generalización del clásico JSP, usualmente mas complejo.
- En el FJSP cada operación puede ser procesada por una máquina entre un conjunto de máquinas disponibles.
- El problema de la empresa tiene estas características.
- Para elaborar 1500 piezas: $j = 6$ trabajos, $h = 5$ operaciones y $m = 8$ máquinas.
- Función Objetivo: minimizar Makespan

Tomamos como base el Modelo de:

Fattahi, P., Mehrabad, M., Jolai, F.: Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems. *J. Intell. Manuf.* 18, 331–342 (2007)

Un modelo más compacto:

Özgülven, C., Özbakir, L., Yavuz, Y.: Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Appl. Math. Model.* 34, 1539–1548 (2010)

Más recientemente:

Birgin, E.G., Feofiloff, P., Fernandes, C.G., de Melo, E.L., Oshiro, M.T, Ronconi, D.P. A MILP model for an extended version of the Flexible Job Shop Problem. *Optimization Letters*, 8, 1417 –1431 (2014)

Parámetros:

- n : número de trabajos
- m : número de máquinas
- Cada trabajo consiste en la secuencia de operaciones, O_{jh} , $h = 1, \dots, h_j$
- O_{jh} : operación h del trabajo j .
- h_j número de operaciones necesarias para el trabajo j .
- $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ conjunto de máquinas

- $$a_{ijh} = \begin{cases} 1 & \text{si } O_{jh} \text{ se puede realizar en la máquina } i \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- P_{ijh} : tiempo de procesamiento de la operación h del trabajo j en la máquina i .

- C_{max} : Makespan



$$y_{ijh} = \begin{cases} 1 & \text{si la maquina } i \text{ es seleccionada para la op } O_{jh} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$



$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si } O_{jh} \text{ si es la } k - \text{ésima operación} \\ & \text{se realiza la maquina } i \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- t_{jh} : tiempo de inicio del procesamiento de la operación O_{jh} .
- Tm_{ik} : tiempo de inicio de la op k -ésima en la máquina i
- k_i número de operaciones asignadas a la máquina i
- Ps_{jh} Tiempo de procesamiento de la operación O_{jh} después de seleccionar una máquina

Minimizar C_{max}
sujeto a

$$C_{max} \geq t_{jh_j} + P_{s_{jh_j}} \quad (1)$$

$$\sum_i y_{ijh} P_{ijh} = P_{s_{jh}} \quad (2)$$

$$t_{jh} + P_{s_{jh}} \leq t_{j,h+1} \quad (3)$$

$$T_{m_{ik}} + P_{s_{jh}} x_{ijhk} \leq T_{m_{i,k+1}} \quad (4)$$

$$T_{m_{ik}} \leq t_{jh} + (1 - x_{ijhk})L \quad (5)$$

$$T_{m_{ik}} + (1 - x_{ijhk})L \geq t_{jh} \quad (6)$$

$$y_{ijh} \leq a_{ijh} \quad (7)$$

$$\sum_j \sum_h x_{ijhk} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_i y_{ijh} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_k x_{ijk} = y_{ijh} \quad (10)$$

$$t_{jh} \geq 0, P_{s_{jh}} \geq 0, T_{m_{ik}} \geq 0$$

$$x_{ijk}, y_{ijh} \in \{0, 1\}$$

Restricciones:

- (1) Determina el Makespan
- (2) Determina el tiempo de procesamiento de la operación O_{jh} por la máquina seleccionada
- (3) Secuencia de operaciones de cada trabajo
- (4) Cada máquina procesa un trabajo a la vez
- (5) y (6) Cada operación inicia después que la máquina asignada esté disponible y al terminar la operación anterior
- (7) Máquinas habilitadas para cada operación
- (8) Asigna operaciones a máquinas
- (9) y (10) Cada operación se realiza sólo en una máquina y en orden de prioridad

Software para resolver el modelo con los datos reales:

- Decision Optimization on Cloud (DOplexcloud) de IBM. Se envían archivos CPO (Constraint Programming Optimization), se resuelve en línea en centésimas de segundos.
- Xpress con tiempo máximo CPU 7200 seg. Siempre se agotaba el tiempo máximo de ejecución.

Resultados del modelo en el problema práctico

Con DOplexcloud se resolvieron varios escenarios posibles de la empresa:

- 1 Todas las máquinas se encuentran disponibles, se realiza una orden de trabajo de 1500 piezas (6 trabajos, 8 máquinas)
- 2 Falla la máquina 1, se realiza una orden de trabajo de 1500 piezas (6 trabajos, 7 máquinas)
- 3 La máquina 7 está en reparación y se realiza una orden de trabajo de 1500 piezas (6 trabajos, 7 máquinas)
- 4 Se incrementa la orden de trabajo a 3000 piezas con todas las máquinas disponibles, (12 trabajos, 8 máquinas).

Escenario	1	2	3	4
óptimo(días)	9.51	9.59	9.51	16.17

Para la elaboración de 3000 piezas:

- En el óptimo de DOplexcloud se obtiene que el tiempo de terminación de todas las tareas es de 16.17 días.
- El tiempo de procesamiento de la empresa es de 18.5 días.

- Se detecta la operación cuello de botella
- Se detecta las máquinas mas relevantes en el proceso y se definen estrategias de mantenimiento preventivo para estas máquinas.
- Un operario no es necesario
- Una de las máquinas es innecesaria, se puede emplear como máquina de apoyo.

- En el año 2017 se incrementa la demanda del cliente.
- Se resuelve el modelo para procesar 3200 piezas con lotes de 200 piezas, con 8 o 16 trabajos.
- Para la realización de 3200 piezas el tiempo total de terminación del modelo es de 15.61 días.

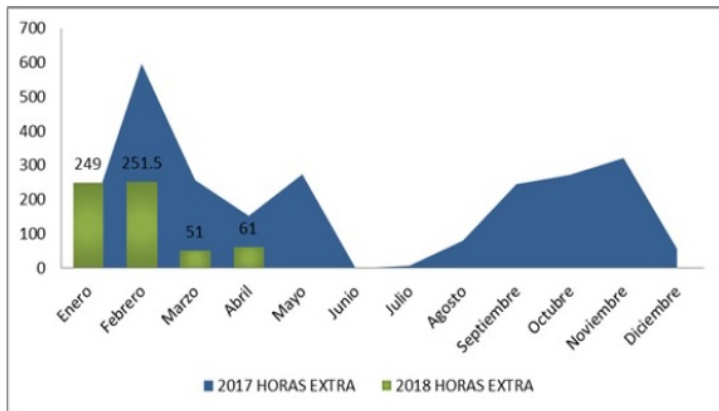
Año 2018:

- Con los resultados obtenidos se realiza una redistribución de Layout en la empresa, logrando una mejor distribución del área de trabajo dedicada a la fabricación de esta pieza.
- Sólo son necesarias 6 máquinas en el proceso.
- No hay necesidad de trabajar con lotes, se realiza la producción en serie.
- Con simulación obtienen que con la nueva distribución y tiempos se realizan 3000 piezas en 9.8 días.

Tiempo extra años 2016, 2017 y 2018.

Año	Producción piezas	Horas extra
2016	52878	1436
2017	69471	2397
2018	83500	613

Implementación de resultados y mejoras



- El tiempo de producción disminuye de 18.5 días a 9.8 días.
- El resultado representa una disminución 47 % del tiempo de entrega
- La línea de trabajo disminuyó de 216 m^2 a 104 m^2 , representando la reducción del 52 % del área asignada en el layout.
- La productividad incrementa en 69 %.
- Se tiene un beneficio del 0.8 % adicional a las ventas.

- Se ha aplicado un FJSP a un problema real
- Se resuelve en línea para varias instancias
- Se valida la solución del modelo en la instancia real
- Se implementa la solución y se obtienen mejoras en la empresa
- La aplicación de modelos matemáticos y optimización en problemas reales otorga beneficios a las empresas

ULL

Universidad
de La Laguna

SEMINARIO

**DECISIÓN,
OPTIMIZACIÓN Y
SISTEMAS
INTELIGENTES**



Gracias