Modelo de optimización de línea de ensamble para productos plásticos

Fernanda Flores[1] Diego García Tinajero[1] Adrián Martínez[1] Aldo Rangel [1]
Jannet Tamayo[1] Iván Vega[1]

[1]Centro de Investigación en Matemáticas A.C.
Avenidad de la plenitud 103, Fracc. José Vasconcelos
CP 20200, Aguascalientes, Ags.

Resumen

I. Introducción

En la actualidad la gran mayoría de los artículos que utilizamos en nuestra vida cotidiana son total o parcialmente compuestos por algún tipo de plástico, por tanto existe una infinidad de fábricas y líneas de producción de este tipo de componentes. Siendo más específicos, el proceso de inyección de plástico es uno de los más utilizados en esta industria, por lo que optimizar el funcionamiento de la línea de producción ofrece una ventaja competitiva. Sin embargo, los modelos de optimización se han enfocado en su mayoría solamente a la línea de producción y no a la línea de empaque o ensamble, provocando en ocasiones cuellos de botella y costosos paros de producción. En el presente reporte se muestra una propuesta de mejora para balancear ambos procesos y obtener el mayor beneficio del tiempo de operación.

II. Marco teórico

Dentro de la literatura, se ha abordado el problema de programación y dimensionamiento de lotes en la industria de inyección de plástico, desde varias perspectivas. Por ejemplo, en [1] se realizó una heuristica, la cual converge a una solución factible con pocas iteraciones, el enfoque es primero determinar el tamaño del lote de los productos junto con las asignaciones de moldes y máquinas. La segunda etapa determina si existe un cronograma factible de los moldes sin traslapes. Si no tiene éxito, vuelve a la primera etapa y restringe el número de máquinas que puede visitar un molde, hasta encontrar una solución factible. Por otro lado en [2] se hace uso de la programación lineal entera mixta, mientras que [3] el enfoque es maximizar la producción de piezas más que de productos terminados y en [4] el problema se aborda con búsqueda tabú.

Hay diversos enfoques en los cuales se puede abordar el problema de programación en la industria de inyección de plástico, sin embargo, no hay información sobre como se deben ensamblar los productos finales.

III. Metodología

III.1. Modelo

De acuerdo a los datos de la instancia se supondrá el periodo de tiempo es de una semana. Con esto definido dividiremos este periodo en intervalos de tiempo de 1h. Al no tener datos sobre los costos o de algún objetivo en general además de cubrir la demanda, una buena propuesta como objetivo es tratar de minimizar los intervalos de tiempo en los que se trabaja, ya sea produciéndose piezas o ensamblando los productos, puesto que esto potencialmente reducirá los costos en la fábrica.

Puesto que con los datos de la instancia no es posible cumplir la demanda, debido a que la máquina 1 y 18 no pueden producir la cantidad suficiente de pieza 1 y 6 respectivamente, se modificó el tiempo de batch de estas máquinas de 18 y 15 segundos a 6 segundos. Una vez hecha esta modificación se calculó el número de piezas que puede producir cada máquina por hora (ver 1).

Máquina	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Pieza	**1**	**2**	**2**	**3**	**3**	**4**	**4**	**4**	**5**	**5**
Tiempo de batch	6	4.8	3	3.6	3.6	3.6	1.2	0.6	6	6
Piezas/hora	600	750	1200	1000	1000	1000	3000	6000	600	600
Máquina	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
Pieza	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**6**
Tiempo de batch (s)	6	6	6	6	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6
Piezas/hora	600	600	600	600	500	500	500	500	500	600

Tabla 1. Tiempo de batch y piezas por hora para cada máquina en la instancia

Como cada máquina solo puede recibir un solo molde, se supondrá que estos se mantendrán dentro de la máquina todo el tiempo, así pues podemos ignorar el tiempo de set-up. Finalmente se supuso que se tienen dos líneas de ensamblaje en las que cada una, exclusivamente, puede producir el producto 1 y 2 con un número máximo de productos ensamblados por hora de 400 y 250 respectivamente.

III.1.1. Conjuntos, parámetros e índices

- $i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ = índice para las piezas.
- $j \in \{1, 2, \cdots, 168\}$ = índice para los intervalos de tiempo.
- $m \in \{1, 2, \cdots, 18\}$ = índice para las máquinas.
- $k \in \{1, 2\}$ = índice para los productos.
- P_i = Conjunto de máquinas que producen la pieza i
- $D_k \in \{24000, 26000\}$; Demanda del producto k.
- $Ce_k \in \{400, 250\}$; Capacidad de ensamblaje para el producto k.
- $Ph_m = [600, 750, 1200, 1000, 1000, 1000, 3000, 6000, 600, 600, 600, 600, 500, 500, 500, 500, 500, 600]$; Número de piezas que produce la máquina m por hora.
- $I_i = [0, 0, 0, 1000, 0, 0]$; Inventario inicial de la pieza i.
- e_{ik}; Número de piezas i necesarias para ensamblar el producto k

- M; Un número grande utilizado en la restricción (6). (Ver la sección III.1.4)
- $p_e \in [0,1]$; Peso para el número de intervalos en los que se ensambla el producto k.
- $p_p \in [0,1]$; Peso para el número de intervalos en los que se produce en la máquina m.

III.1.2. Variables de decisión

- $X_{kj} =$ Número de productos k ensamblados en el intervalo de tiempo j
- $X\_b_{kj} = 1$ Si se ensambló el producto k en el intervalo de tiempo j, 0 si no
- $Y_{jm} = 1$ si se produce en la máquina m en el intervalo de tiempo j, 0 si no
- $Z_{ij} =$ Número de piezas i disponibles en el intervalo de tiempo j.

III.1.3. Función objetivo

$$Min: \quad p_p \sum_{j=1}^{168} \sum_{m=1}^{18} Y_{jm} + p_e \sum_{k=1}^{2} \sum_{j=1}^{168} X\_b_{kj}$$

Con esta función objetivo buscamos minimizar los intervalos de tiempo en los que se produce en cierta máquina y en los que se ensambla algún producto. Para esto tomamos ambos objetivos y los multiplicamos por un parámetro de peso p_p y p_e respectivamente.

III.1.4. Restricciones

$$\sum_{j=1}^{168} Y_{jm} \leq 144 \quad \forall m \tag{1}$$

$$X_{kj} \leq Ce_k \quad \forall j,k \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{168} X_{kj} \geq D_k \quad \forall k \tag{3}$$

$$Z_{i1} = I_i - \sum_{k=1}^{2} e_{ik} X_{k1} \quad \forall i \tag{4}$$

$$Z_{ij} = Z_{i,j-1} + \sum_{m \in P_i} Ph_m Y_{j-1,m} - \sum_{k=1}^{2} e_{ik} X_{kj} \quad \forall i, \forall j \geq 2 \tag{5}$$

$$X_{kj} \leq M X\_b_{kj} \quad \forall k,j \tag{6}$$

$$X_{kj} \geq 0 \quad \forall k,j \tag{7}$$

$$X\_b_{kj} \in \{0,1\}, \quad \forall k,j \tag{8}$$

$$Y_{jm} \in \{0,1\}, \quad \forall j, m \tag{9}$$

$$Z_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \tag{10}$$

Las restricciones (1) y (2) nos aseguran que no excedemos el tiempo disponible para cada máquina ni la capacidad máxima de ensamble en cada línea de producción en cada intervalo de tiempo respectivamente. En cuanto a la restricción (3) nos asegura que se cumpla la demanda de cada uno de los productos. Las restricciones (4) y (5) ayudan en la continuidad del problema al contabilizar las piezas disponibles en cada intervalo de tiempo, tomando en cuenta el número de piezas disponibles más las piezas producidas en el intervalo de tiempo anterior menos las piezas utilizadas para el ensamble de los productos en el intervalo de tiempo actual. La restricción (6) activa la variable X_b_{kj} cuando X_{kj} es mayor a 0. Por último las restricciones (7) a (10) validan la no negatividad y las variables binarias.

IV. Experimentación y discusión de resultados

La experimentación consistió en variar los pesos asociados en la función objetivo, donde p_p es el asociado al tiempo de producción y p_e el asociado al tiempo de ensamblaje, con:

$$p_p + p_e = 1 \tag{11}$$

Se hicieron las siguientes 9 combinaciones:

$$p_p = 0.1, p_e = 0.9$$

$$p_p = 0.2, p_e = 0.8$$

$$p_p = 0.3, p_e = 0.7$$

$$\vdots$$

$$p_p = 0.8, p_e = 0.2$$

$$p_p = 0.9, p_e = 0.1$$

Obteniéndose en cada una los resultados:

$$\sum X_{1j} = 24,000$$

$$\sum X_{2j} = 26,000$$

En cada caso, son 595 los periodos de producción trabajados entre todas las máquinas, como puede verse en la Tabla 2.

Análogamente, para el ensamblaje, en todos los casos el total de periodos trabajados en las líneas de ensamblaje son 164, con 60 para la línea que ensambla el producto 1 y 104 para el producto 2, para todas las combinaciones establecidas de p_p y p_e. Las diferencias consisten en variaciones de cuáles son los periodos de los 168 disponibles trabajados para cada línea de ensamblaje.

	p_p=.1	p_p=.2	p_p=.3	p_p=.4	p_p=.5	p_p=.6	p_p=.7	p_p=.8	p_p=.9
Maquina 1	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Maquina 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maquina 3	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Maquina 4	38	45	41	42	39	39	40	33	37
Maquina 5	38	31	35	34	37	37	36	43	39
Maquina 6	1	1	0	1	0	0	0	1	1
Maquina 7	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Maquina 8	8	8	8	8	9	9	9	8	8
Maquina 9	61	45	52	62	53	54	48	58	52
Maquina 10	48	62	53	56	56	52	52	53	54
Maquina 11	51	57	54	50	57	50	58	53	45
Maquina 12	54	49	55	42	48	54	56	50	60
Maquina 13	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Maquina 14	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Maquina 15	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Maquina 16	0	0	0	1	0	1	0	0	1
Maquina 17	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Maquina 18	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Total	595	595	595	595	595	595	595	595	595

Tabla 2. Periodos totales trabajados por máquina en la producción

	$p_p = 0.1$	$p_p = 0.2$	$p_p = 0.3$	$p_p = 0.4$	$p_p = 0.5$	$p_p = 0.6$	$p_p = 0.7$	$p_p = 0.8$	$p_p = 0.9$
Pieza 1	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Pieza 2	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Pieza 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pieza 4	0	0	2000	0	5000	5000	5000	0	0
Pieza 5	400	300	400	0	400	0	400	400	100
Pieza 6	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Total	1200	1100	3200	800	6200	5800	6200	1200	900

Tabla 3. Inventario final para cada una de las piezas

V. Conclusiones

Notamos a partir de los resultados, que la máquina 2 es prescindible. En contraste, las máquinas 1 y 18 cargan con gran parte de la producción.

Enfocándonos en el inventario final, es decir, las piezas que sobraron, notamos que en ninguno de los casos hay exceso de piezas tipo 3. En 4 de los casos, la pieza 4 sobra en gran cantidad, sobretodo para las combinaciones 5, 6 y 7. Un enfoque para la toma de decisiones podría ser escoger la combinación de pesos que reduzca el inventario final. Cuando se establece $p_p = 0.4$ y $p_e = 0.6$, es cuando se genera menor exceso de inventario, con un total de 800.

Por otro lado, la combinación de pesos $p_p = 0.5$,$p_e = 0.5$ y $p_p = 0.7$,$p_e = 0.3$ generan la mayor cantidad de inventario final, con un total de 6200 en cada una.

VI. Anexos

VII. Bibliografía

Referencias

[1] Ríos-Solís, Y. Á., Ibarra-Rojas, O. J., Cabo, M., Possani, E. (2020). A heuristic based on mathematical programming for a lot-sizing and scheduling problem in mold-injection production. European Journal of Operational Research, 284(3), 861-873.

[2] Kim, S. I., Han, J., Lee, Y., Park, E. (2010). Decomposition based heuristic algorithm for lot-sizing and scheduling problem treating time horizon as a continuum. Computers Operations Research, 37(2), 302-314.

[3] Ríos-Solís, Y. Á., Ibarra-Rojas, O. J., Cabo, M., Possani, E. (2020). A heuristic based on mathematical programming for a lot-sizing and scheduling problem in mold-injection production. European Journal of Operational Research, 284(3), 861-873.

[4] Chen, J. F. (2006). Minimization of maximum tardiness on unrelated parallel machines with process restrictions and setups. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29(5), 557-563.