

Caso de estudio sobre la programación de operaciones de corte unidimensional de material, orientada a la reducción de desperdicio, en una industria metalmecánica.

Juan Patricio Palmieri ¹; Emanuel Mansilla ²; Juan M. Novas³

(1) (2) (3) Grupo de Investigación en Modelos y Sistemas de Apoyo a la Decisión para la Eficiencia de las Organizaciones (GIMSE)
Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional
Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, 5000, Córdoba, Argentina
palmieripjuan@gmail.com; emamansilla11@gmail.com (3) CIEM (UNC-CONICET)
Medina Allende s/n, 5000, Córdoba, Argentina jmnovas@famaf.unc.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio realizado en el área de corte de barras de una empresa metalmecánica de la región. El objetivo perseguido fue estudiar el proceso y evaluar alternativas que permitan reducir el nivel de scrap de dicha área. Para ello fue necesario (i) analizar el proceso productivo, (ii) determinar el nivel de descarte o scrap existente en el área de corte, (iii) definir alternativas factibles que permitan disminuir la cantidad de scrap de corte. En la industria en cuestión, si bien el descarte producido por el corte de una orden de trabajo puede ser empleado para elaborar otra, las características del proceso no permiten la implementación directa de las herramientas de optimización de corte que existen en el mercado. Debido a esto y a que la empresa no cuenta con un sistema que le permita capturar la cantidad de descarte producido, se desarrolló un algoritmo que facilita su cálculo. El mismo permite considerar las variantes posibles en la política de corte de la compañía, ya que la reutilización de los descartes en otros productos es una decisión que se toma actualmente en piso de planta. En el presente estudio se describe el proceso y sus características, para luego especificar el problema. Luego se introducen las características principales del algoritmo desarrollado. En base a ello, se comparan los resultados con los logrados por una herramienta comercial. Finalmente se proponen y analizan distintas alternativas de solución.

Palabras clave: problema de corte de barras, industria de manufactura, algoritmos.

ABSTRACT

This work presents a study carried out at the bars cutting area of a local automotive parts industry. The goal was to evaluate alternatives aimed at reducing the scrap of that sector of the plant. In order to achieve that objective, it was required to (i) analyze the process, (ii) define the current scrap level, (iii) identify feasible alternatives that allow to reduce the scrap. Because of the characteristics of the production process, the cutting optimization tools available at the market are useless. Moreover, the company is not able to capture the scrap of each production order since none supporting tool is implemented with that aim. Currently, the decision about the reutilization of the scrap of one order in the production of another one, is taken in the shop floor based on the operators experience. These facts triggered the development of an algorithm that estimates the scrap from a set of different orders. After describing the process and its characteristics, the problem specification is introduced. Then the developed algorithm is presented and several results are shown. They were compared with those obtained by a commercial tool. Finally, different solution alternatives are proposed.

Keywords: Cutting stock problem, manufacturing, algorithm.

1. INTRODUCCIÓN

Atravesando una era de gran competencia, las industrias se ven forzadas a aprovechar al máximo las nuevas tecnologías disponibles para lograr un aumento en la eficiencia. Existe una gran cantidad de métodos y herramientas que permiten lograr este objetivo, dependiendo de la industria que se trate, y entre estas se encuentra la optimización en el corte de material. El uso de distintos métodos de corte permite a las industrias alcanzar una reducción del desperdicio o scrap que se genera y lograr un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

La optimización en el corte de material o Cutting Stock Problem (CSP) es un problema reconocido del área de investigación operativa y se puede clasificar en tres grandes grupos [3]:

- (i) Una dimensión: Consiste en cortar barras de un mismo grosor donde solo varía su largo y acomodar el corte de manera que el desperdicio de material por cada barra o planchuela utilizada sea la mínima.
- (ii) Dos dimensiones: Consiste en cortar una placa rectangular en un conjunto finito de piezas rectangulares más pequeñas, de manera de maximizar el uso y minimizar el scrap.
- (iii) Tres dimensiones: Consiste en cortar piezas en distintos volúmenes aprovechando con máximo beneficio el material. Si bien esta práctica no es muy utilizada en el campo de corte si lo es para el acomodo de piezas con el fin de minimizar el espacio que ocupan en un recinto, como por ejemplo, en la optimización de la carga de camiones de transporte.

Existen numerosos trabajos de investigación en el área, como los presentados por Scheithauer y colab. (2001), Silva y colab., (2010), Gonzalez y colab., (2016), los cuales tratan el problema en 1D, 2D y 3D respectivamente [2, 4, 5].

En este trabajo se aborda el problema de corte unidimensional, dado que la industria sobre la que se realiza el caso de estudio procesa barras que deben ser cortadas en piezas de distintas medidas, las que luego continúan su proceso para, finalmente, confeccionar el producto final.

Con el objetivo final de desarrollar una propuesta que permita reducir el nivel de scrap de dicha área, en esta primer etapa y mediante el presente trabajo se persiguió: (i) analizar el proceso, (ii) determinar el nivel de descarte o scrap existente, (iii) definir alternativas factibles que permitan disminuir la cantidad de scrap de corte.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa dispone de un sector en la planta dedicado al corte de barras o planchuelas, que posteriormente continúan un proceso de manufactura para transformarse en elásticos de maquinaria pesada, como camiones, colectivos y maquinaria agrícola. Como resultado del corte de las barras se obtiene una determinada cantidad de scrap que la empresa busca reducir.

La planta posee tres equipos guillotina que trabajan en paralelo. Cada equipo se utiliza para el corte de las barras y posee un tope ajustable que determina el largo del corte que se quiere obtener. El operador recibe una orden de producción con la información sobre la cantidad de piezas que debe cortar y el largo que debe tener cada una. Es una práctica cotidiana del operador decidir sobre la combinación de cortes en cada barra, así como la secuencia de corte entre barras, ya que esta información no es provista por el área de ingeniería o planificación de la producción.

La forma de proceder del operador consiste, generalmente, en obtener de la orden de trabajo (OT) el largo de una de las piezas, empezando siempre por la barra más larga, y la cantidad a cortar; con esta información el operador regula el tope en el largo indicado, luego toma la barra hasta que se afirme en el tope y corta la barra hasta que la dimensión de la misma no alcanza para realizar un nuevo corte con dicha medida.

El resto de la barra es considerado como scrap, siempre y cuando su largo no pueda ser utilizado en el corte de una nueva pieza de menor tamaño, que se encuentre en la orden de trabajo. Mediante la Figura 1 se ilustra el método de corte descrito, donde hay cuatro barras de un mismo material y largo, que son cortadas en piezas menores. Como se puede observar, cada barra es cortada en piezas de un mismo largo (números contenidos en cada barra), ya que el setup de la cizalla no puede ajustarse dinámicamente en cada corte de cada barra. Es decir, se trabaja por lotes de partes de igual largo. Las zonas sombreadas representan el material que no puede ser utilizado y debe considerarse como

scrap. A esto también debemos sumar como desperdicio la “cola de barra” que es el largo mínimo que debe sobrar en una barra para que pueda ser tomado por la guillotina al momento del corte.

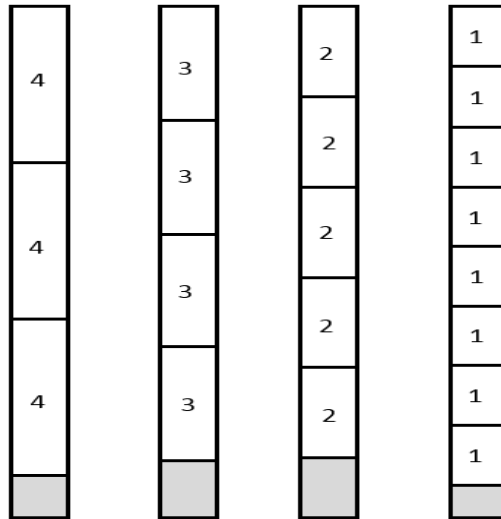


Figura 1. Método actual de corte.

Como se describió anteriormente, debido a la configuración de la planta y equipos, las guillotinas no pueden realizar cortes de diferentes largos sobre cada barra, sino que se cortan piezas de una misma longitud a partir de todas las barras que sean requeridas. Dicho lote de piezas de una misma longitud continúa aguas abajo en el proceso, donde distintos equipos son puestos a punto según dicho largo.

El problema, tal como lo define la empresa, es el alto porcentaje estimado de producción de desperdicios en la sección de corte. Como una causa de ello distinguen la falta de una estimación real sobre el porcentaje de desperdicio y de una programación que busque su reducción.

Desde el punto de vista académico, el problema es una variación del CSP en una dimensión, ya que el CSP original permite la combinación de distintos largos de corte en cada barra de manera de optimizar el desperdicio total, en cambio, en el problema presente en la empresa se corta la máxima cantidad de piezas posibles de un dado largo por barra.

3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El presente trabajo se limita a los puntos establecidos como objetivos en la primer sección, dejando como actividad futura el desarrollo de un modelo de optimización que tenga como base la información obtenida en este estudio. A continuación, se describe la estimación de la cantidad de scrap de corte que la empresa genera con los procesos actuales, y se identifica una herramienta que permite obtener el scrap teórico mínimo mediante la optimización de corte aplicando CSP tradicional.

Para la estimación de scrap según el proceso de corte actual, se desarrolló un algoritmo que permite realizar una estimación del desperdicio a obtener a partir de un conjunto de órdenes de trabajo. Esta estimación se realiza considerando los procesos y la forma de trabajo actual, dejando de lado cuestiones operativas no sistemáticas. Se asumen los siguientes puntos:

- Dada una OT, se cortan todas las piezas de un mismo largo (que entren en una barra), comenzando por la pieza más larga de la OT (1° pieza) y siguiendo hasta la última o más corta.
- En cada corte de barra, lo que queda sin utilizar es considerado scrap, con excepción de ciertos cortes que son guardados para su uso posterior. Esta decisión no está sistematizada y depende del criterio de los operadores y las altas limitaciones de espacio.
- Para el presente cálculo de scrap se considera que si el resto del corte de una barra es útil a otra pieza del mismo producto u OT, entonces se guarda para ese destino.
- Por un lado, para las OTs referidas a productos que poseen varias piezas, se chequea la usabilidad del scrap de cada corte para el resto de piezas del mismo producto (no se chequea si

sirve para otra OT). Si el resto fuera útil para varias piezas, se elige entre aquellas cuyo corte brindará a su vez el menor scrap.

- Por otro lado, se chequea la usabilidad del scrap entre las OTs que demandan una única pieza, siempre y cuando sean realizadas en el mismo día y con el mismo material. Es decir, se considera que el scrap de una OT de una única pieza puede ser usado para otra OT de única pieza que se ejecuta ese mismo día, requiriendo el mismo material.
- Una OT puede elaborarse durante varios turnos o días, lo cual no es relevante al cálculo de scrap. Simplemente se agregan las cantidades de las OTs "parciales".
- El total de scrap por OT se totaliza a partir de los scraps individuales de cada pieza que la conforman. El desecho de cada OT se compara con el total del material empleado para su producción, obteniendo el porcentaje de scrap por OT. Un porcentaje de scrap promedio se obtiene a partir de un dado conjunto de OTs.

El algoritmo utiliza como datos de entrada:

- Largo de la barra.
- Largo de corte de cada pieza
- Cantidad a cortar de cada pieza
- Largo máximo de la cola de barra (opcional)

La propuesta desarrollada considera lo enunciado en Dyckhoff (1981) y en Stadtler (1990) sobre cortes únicos (one-cut models) en donde cada corte produce al menos una pieza de las demandadas y donde las piezas residuales (restos) son reutilizables para cortar más piezas [1,6].

En cuanto al establecimiento del scrap mínimo óptimo, se investigó el uso de herramientas de optimización de cortes unidimensionales. Entre el gran número de herramientas que ofrece el mercado, se trabajó con un software que permite:

- Reducir el uso de material lineal en comparación con el corte manual.
- Generar la estimación de informes de costos.
- Generar el diseño gráfico de la longitud de corte.
- Generar una lista de las existencias de scrap después de que todas las partes han sido cortadas.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el objeto de mostrar algunos resultados obtenidos por el algoritmo y compararlo con las soluciones óptimas de la herramienta comercial, se presenta aquí un caso de estudio de los varios empleados para validar y testear la propuesta. El caso de estudio consiste en un conjunto de OTs elaboradas por la compañía durante una semana de trabajo promedio (datos proporcionados por la empresa). En la Tabla 1 se muestran los datos correspondientes a una OT representativa, perteneciente al conjunto de OTs del caso considerado. En esta tabla se detalla el largo que tendrá cada pieza (en mm); se indica la cantidad de piezas de esa longitud que deben cortarse como también se muestra el largo de la barra o planchuela que se emplea para obtener las piezas (en mm).

Tabla 1. Orden de Trabajo (OT) representativa

Pieza	Largo de corte	Cantidad de piezas	Largo de la barra
1° pieza	1650	30	4400
2° pieza	1490	30	4400
3° pieza	1330	60	4400
4° pieza	1132	60	4400
5° pieza	1040	80	4400
6° pieza	1040	90	4400

En la Tabla 2, se muestran los resultados de scrap obtenidos al aplicar el algoritmo propuesto que replica la metodología actual de corte, sobre la OT representativa de la Tabla 1. La Tabla 2 indica (i) la cantidad de piezas que se pueden cortar por barra, (ii) el largo sobrante que queda al realizarse el corte de dicha cantidad de piezas, (iii) si el largo que queda al realizarse el corte alcanza para obtener una pieza de un largo inferior (iv) la cantidad de barras requeridas para cumplir con el requerimiento de la OT. En el ejemplo, para el caso de la 1° y 2° pieza, el resto de la barra es útil para obtener otra de las piezas. El algoritmo se encarga de chequear a cuál pieza conviene asignar el resto de la barra, con el objeto de minimizar el scrap final.

Tabla 2. Scrap obtenido según proceso de corte actual

Pieza	Cant.Piezas/barra	Resto/barra (mm)	Scrap/barra (útil/No útil)	Cant.Barras Requeridas
1° pieza	2	1100	útil	15
2° pieza	2	1420	útil	15
3° pieza	3	410	No útil	15
4° pieza	3	1004	No útil	20
5° pieza	4	240	No útil	20
6° pieza	4	240	No útil	19

Mediante el algoritmo propuesto, se obtuvo como resultado que la empresa generó un 8% de scrap para el caso de estudio. Se estima que ese porcentaje es el promedio de desperdicio para una semana normal de producción. De no cumplirse el supuesto de trabajo donde del desecho de cada corte se elabora otra pieza de la OT si fuera posible, entonces el scrap sería mayor. El porcentaje real dependerá de las OTs que se elaboren durante el período que es considerado en el cálculo. Para el caso estudiado, hay OTs que tienen un desperdicio que se encuentra en el orden del 4% y otras, en el 15%, lo cual muestra la variabilidad existente.

Scrap mínimo según optimizador de corte

El cálculo del scrap mínimo se realiza a través de una herramienta de software propiedad de terceros (1DCutX, 2016), la cual establece, según un dado número de órdenes de producción, cuál es la configuración de corte óptima de cada barra respecto a la minimización de scrap. Es necesario aclarar que la herramienta no da información respecto de si la solución es el óptimo matemático.

Si bien las configuraciones de corte obtenidas por esta herramienta pueden no ser viables según los procesos actuales de la planta, lo que se buscó fue fijar el valor (porcentaje) mínimo óptimo de scrap de corte. Esta información luego se puede tomar como cota inferior y permitirá asignar un valor económico al ahorro por pérdida de material. Este dato servirá de soporte a la empresa para tomar decisiones al respecto.

Con el fin de poder comparar resultados, el cálculo de scrap mínimo mediante el empleo de esta herramienta se ejecuta sobre el mismo conjunto de OTs que se empleó para el cálculo de scrap mediante el algoritmo propuesto. La herramienta computacional definió una configuración de corte para cada barra, considerando todas las órdenes involucradas, obteniendo un scrap total del 2,9% para este conjunto de OTs.

Comparación de situación actual con óptima

La Tabla 3 resume los resultados encontrados para el caso de estudio ilustrativo. Se puede observar la diferencia entre la situación actual en corte (obtenida por el algoritmo) y la configuración óptima, mediante la valoración de tres aspectos que definen la eficiencia del uso del material: (i) El material lineal que se emplea para el corte, el cual se define como la sumatoria de la cantidad de barras empleadas por la longitud de cada barra, (ii) el porcentaje de scrap, que para el caso del valor actual

se establece como una estimación del promedio entre los scrap de cada OT, y para el caso óptimo como el scrap a obtener si se respeta la configuración de corte resuelta por la herramienta computacional, y (iii) el scrap lineal, definido como la aplicación del porcentaje de scrap sobre los metros lineales de material empleado. Todas las soluciones están dadas en medidas de longitud, pero se pueden convertir fácilmente a costos por peso de material.

Tabla 3. Comparación con situación actual con óptima

Indicadores	Actual	Óptimo	Diferencia (actual-óptimo)
Material lineal utilizado (en mtros.)	457,6	431,2	26,4
% Scrap	8,,3%	2,9%	5,4%
Scrap lineal (en mtros.)	37,84	12,46	25,38

Se observa que para el indicador % Scrap actual se tomó la estimación más conservadora de 8%. Si el scrap actual es mayor, las diferencias con el óptimo serán mayores. Teniendo en cuenta estos resultados se aprecia que se consigue un 5,4% más de aprovechamiento del material con el método óptimo, dando como resultado solo 12,46 metros de scrap contra los 37,84 metros que se estarían obteniendo actualmente.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo se desarrolló en el marco de un proyecto de UTN-FRC, que busca acercar la universidad a las empresas industriales de la región con el fin de proporcionarles herramientas que les permitan realizar mejoras y ganar competitividad.

En este documento se presentó lo realizado en una primera etapa de evaluación, que tiene como fin el desarrollo de una mejora en el proceso de corte de material en una empresa metalmecánica de la zona. Para ello, se analizó el proceso productivo, se determinó el nivel de scrap existente por medio de un algoritmo que se desarrolló con el fin de replicar la operatoria actual del área de corte, y finalmente, se compararon estos resultados con los obtenidos al aplicar un software optimizador del problema CSP en una dimensión.

De los resultados obtenidos, se observa que la empresa tiene un gran potencial de mejora, con un óptimo ideal de desperdicio que ronda el 2-3% de material, lejos del estimado actual del orden del 8%. Más allá de los resultados obtenidos, es infactible la aplicación del optimizador enlatado ya que no respeta los procesos operativos actuales de la planta. Sin embargo, los potenciales beneficios de optimizar el corte de material hacen que sea necesario continuar el estudio hacia los procesos aguas abajo, analizando las posibilidades de realizar reingeniería en busca de optimizar todo el proceso productivo de manera integral.

Queda como trabajo futuro entonces, realizar un relevamiento y análisis completo del proceso productivo, evaluando por un lado, los potenciales impactos que podría tener el uso de herramientas de optimización de corte enlatados y la readecuación necesaria en caso de implementarlos, y por el otro, el desarrollo de métodos propios de mejora en la programación de las OTs de corte que respeten la operatorio actual y permitan reducir los niveles actuales de generación de desperdicio.

REFERENCIAS

- [1] Dyckhoff, H. (1981). A new linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research* , 29, 1092-1104.

- [2] Gonzalez, Y., Miranda, G., Leon, C., (2016). Multi-objective Multi-level Filling Evolutionary Algorithm for the 3D Cutting Stock Problem. *Proceedings of the 20th International Conference KES-2016*, 96, 355-364.
- [3] Hinxman, A. I. (1980). The trim-loss and assortment problems: A survey. *European Journal of Operational Research*, 5, 8-18.
- [4] Scheithauer, G., Terno, J., Müller, A., Belov, G. (2001). Solving one-dimensional cutting stock problems exactly with a cutting plane algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, 52, 1390-1401.
- [5] Silva, E., Alvelos, F., Valério de Carvalho, J.M., (2010). An integer programming model for two- and three-stage two-dimensional cutting stock problems. *European Journal of Operational Research*, 205, 699–708.
- [6] Stadtler, H. (1990). A one-dimensional cutting stock problem in the aluminium industry. *European Journal of Operational Research* , 44, 209-223