

Optimización de la distribución y corte de piezas irregulares en chapas para la industria minera

Arlys Michel Lastres Aleaga
Alexis Cordovés García
José Arzola Ruiz

Resumen

La organización de los procesos productivos es considerada una problemática altamente compleja en la cual han aplicado técnicas de optimización y empleo de sistemas CAPP (Computer Aided Process Planning). Los altos niveles de producción y consumo de materiales durante el proceso de corte de piezas irregulares en chapas, demandan el empleo de estas técnicas, con el propósito de obtener soluciones que permitan reducir los niveles de consumo energéticos y de materiales, aumentando así la productividad y eficiencia del proceso. En este artículo se muestran los aspectos fundamentales de un procedimiento para la optimización de la distribución y corte de las piezas en chapas, teniendo en cuenta las condiciones tecnológicas del proceso de corte. El aprovechamiento de material y las mínimas trayectorias de corte durante el proceso de fabricación son definidos como indicadores de eficiencia para el proceso de distribución y corte de piezas irregulares en chapas. El procedimiento abarca el empleo de heurísticas y un enfoque sistémico para generar soluciones que aporten el mejor compromiso de los valores de los indicadores de eficiencia. Los resultados obtenidos con el procedimiento propuesto mejoran significativamente los indicadores antes mencionados comparados con métodos y esquemas de solución de trabajos precedentes.

Palabras clave

Anidamiento, CAPP, chapas, optimización, piezas irregulares.

Optimizing distribution and cutting of irregular parts from plates in the mining industry.

Abstract

Organizing the various production processes is considered to be a very complicated issue in which has been implemented optimization techniques and systems using CAPP (Computer-aided Process Planning). Due to increased production rates and consumption of materials, cutting irregular parts from plates requires using these techniques in order to pursue solutions leading to less energy and material consumption; thereby increasing productivity and process efficiency. This article presents the fundamental aspects of a procedure to optimize the distribution and cutting of parts from metal sheets based on the technological conditions of the cutting process. Reduction of material consumption and minimum cutting path in the manufacturing process are defined as efficiency factors for the process of distribution and cutting of irregular parts from metal plates. The procedure includes the use of heuristics and a systematic approach to generate solutions for a better fulfillment of the efficiency indicator values. The results obtained from the implementation of this procedure will significantly improve the indicators above-mentioned, as compared to the methods and schemes of solution provided in previous works.

Key words

Nesting, CAPP, plates, optimization, irregular parts.

INTRODUCCIÓN

El nivel actual de competitividad empresarial y la inevitable globalización de los mercados exigen a las empresas de mecanizado para la industria minera del níquel, la sistemática reducción de los costos de producción y los tiempos de fabricación. Es por ello que resulta decisivo para el cumplimiento de estas exigencias el empleo de las tecnologías derivadas directamente de los procesos productivos, así como las técnicas implementadas para la ayuda del diseño y toma de decisiones durante la planificación de la producción (Xie & Zhang 2008).

Para obtener un determinado producto se requiere la ejecución de diferentes operaciones individuales, de modo que puede denominarse proceso tanto al conjunto de operaciones para la extracción de los recursos naturales necesarios, hasta la venta del producto terminado, incluidas las tareas realizadas en un puesto de trabajo con una máquina herramienta (Heizer & Render 2001).

Los costos principales en los sistemas productivos están determinados por la maquinaria, la materia prima y la mano de obra empleadas. La planeación de la producción, la administración de ventas y la preparación tecnológica se realizan con el fin de elevar la eficiencia y constituyen costos de orden inferior en comparación con el costo final del producto terminado (Sipper & Bulfin 1998).

El presente trabajo como objetivo proponer un modelo que permita a las empresas de mecanizado para la industria minera del níquel, la generación de variantes de distribución y corte de piezas irregulares en chapas y considere para ello, las restricciones tecnológicas del proceso productivo y permita optimizar el consumo de material y ruta de corte para la fabricación.

PLANEACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZAS IRREGULARES EN CHAPAS

La integración de los sistemas CAD/CAP/CAPP/CAM asociados a las tareas de corte y distribución de piezas en chapas obedece a los mismos principios de descomposición de tareas de dirección de

objetos complejos (Arzola 2000). Así se estudia, en una primera fase, la tarea de dirección de mayor envergadura asociada a la fabricación de las piezas que han de ser distribuidas en chapas y cortadas. La tarea de planeación del proceso de fabricación (CAPP) se subordina, necesariamente a la del diseño del producto (CAD) que debe fabricarse. Esta subordinación obedece necesariamente a los principios de organización de la estructura centralizada, pues se requiere fabricar exactamente la pieza que fue diseñada. El sistema CAPP es el encargado de generar las diferentes opciones de tecnologías de producción en las máquinas de corte, en calidad de propuestas al sistema de dirección de la producción del taller (Figura 1).

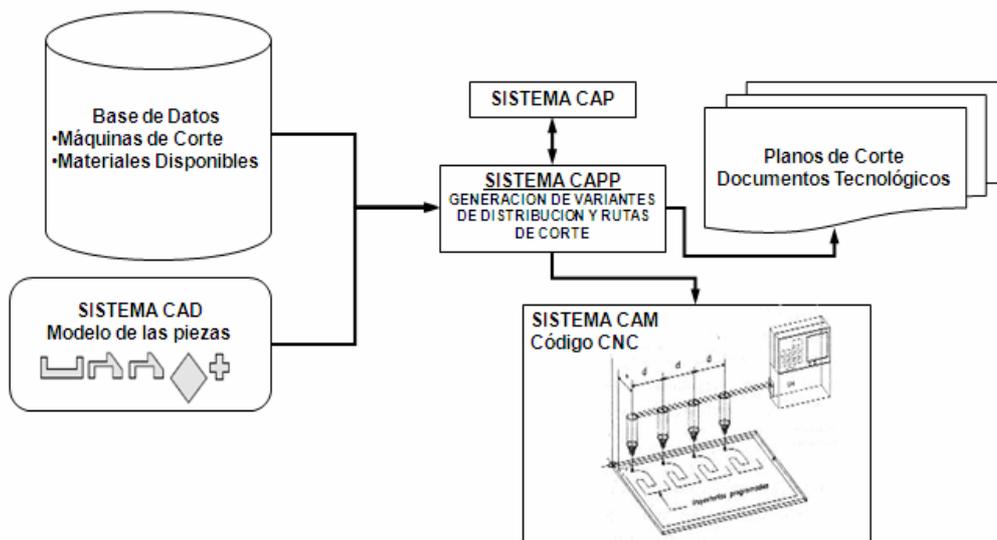


Figura 1. Esquema del sistema de dirección de mayor envergadura donde se ubica la distribución y corte de piezas.

Las propuestas de tecnologías de corte en cada máquina tienen que estar necesariamente asociadas a la secuencia de producción seleccionada por el sistema de dirección de la producción (CAP) para cada periodo de tiempo establecido, para cumplir en tiempo y forma con los pedidos de los clientes y lograr alcanzar los mejores valores posibles de los indicadores de eficiencia de la organización productiva a la que pertenece (Arbel 1993). La ejecución de las tareas productivas se debe realizar mediante la transferencia de información directiva desde el sistema CAPP al sistema de fabricación (CAM) de cada máquina de corte del taller

para cada lote componente de la secuencia de producción a realizar (Hannan 1998).

Las variables de coordinación del CAPP provienen del CAP y están constituidas por los planos de las piezas y las chapas, así como las restricciones constructivas, los requisitos relacionados con los volúmenes de producción y disponibilidad de materia prima asociada al lote de producción. Así, entre las variables de coordinación se encuentran las siguientes:

- Configuración geométrica y especificaciones técnicas de cada una de las piezas que deben ser producidas en el periodo establecido.
- Materia prima (planchas) a utilizar para garantizar los volúmenes de producción, considerando el material sobrante proveniente de procesos anteriores DCh_{aj} , " $j = 1, \dots, ju$."
- Anidamiento de piezas en cavidades interiores: Apc (variable booleana que adopta el valor de 1 cuando se considera la ubicación de piezas en agujeros interiores de otras piezas y 0 cuando no es considerable). Los valores de esta variable los determina el nivel superior de acuerdo a la preferencia subjetiva de aprovechar la chapa o bien de reducir la complejidad del corte.

A partir de consultas efectuadas a numerosos especialistas, vinculados a la producción en empresas de mecanizado para la industria minera de níquel en nuestro país, y del estudio de la literatura referenciada que aborda los procesos de distribución y corte de piezas en superficies, predominan, en calidad de criterios de eficiencia para la generación de opciones de solución, los siguientes:

1. Máximo aprovechamiento de material utilizado en el proceso: Ap .
2. Mínimo desplazamiento de la herramienta de corte, determinada por el recorrido de la herramienta de corte para cada plancha de cada lote en cada máquina del taller y para cada opción de distribución, bajo el cumplimiento de las restricciones impuestas por la tecnología de corte empleada: Dhc .

3. Máxima "satisfacción" del fabricante por la solución propuesta y permitir la introducción de posibles ajustes a la misma.
4. Máxima "satisfacción" de las restricciones impuestas por las variables de coordinación.

La máxima productividad del corte, el mínimo consumo de combustible tecnológico y el mínimo tiempo de corte se corresponden con el mínimo desplazamiento de la herramienta de corte, por lo que no se han de considerar explícitamente como indicadores de eficiencia en este trabajo.

Del análisis de la tarea de fabricación en estudio se destacan dos tareas interrelacionadas: la distribución de piezas en la chapa y la determinación de la ruta de corte para las distribuciones propuestas a fabricar. La primera de ellas calcula los diferentes valores de aprovechamiento de material en la chapa, lo cual constituye el primer indicador de eficiencia y la segunda, genera las trayectorias por donde debe pasar la herramienta de corte, siguiendo el perfil de las piezas, lo cual determina, al desplazamiento de la herramienta de corte como el segundo indicador de eficiencia.

Sobre los indicadores de eficiencia (1 y 2) inciden las variables relacionadas al posicionamiento mutuo de las piezas sobre la chapa. La primera tarea tiene que ver con la determinación del posicionamiento mutuo de las piezas entre sí, determinadas por los valores de las variables de decisión que determinan la ubicación por coordenadas de cada pieza en la chapa correspondiente $DespX$, $DespY$; mientras que la segunda tarea tiene que ver con el orden de paso de la herramienta de corte por cada contorno de las piezas, a través de los nodos que definen los cambios de frontera de las piezas distribuidas.

De tal forma, los vectores variables $DespX$, $DespY$ que determinan las coordenadas de todos los puntos del contorno discretizado de las piezas constituyen variables de coordinación a los efectos de la tarea común, consistente en buscar un compromiso cuantificable entre los indicadores de eficiencia seleccionados.

Así, el modelo matemático conceptual de la tarea estudiada se puede expresar como:

$$\text{Minimizar } \{ Z(Z_1(u), Z_2(u, x_n))/h(u) \geq 0; g_s(u, x_s) \geq 0; " s \in S \} \quad (4)$$

donde:

$Z_1(u) = 1 - Ap$: Material no aprovechable de la plancha

$$u = (DespX, DespY)$$

$$Z_2(u, x_n) = Dh_c$$

x_n : nodos que definen los cambios contorno – contorno de las piezas distribuidas

de esta manera el modelo conceptual (4) puede de una forma más precisa expresarse como:

$$Z = \max \left\{ \left[w \left(z_1(u) - z_1^{id} \right), (1-w) \left(z_2(u, x_s) - z_2^{id} \right) \right] / h(u) \geq 0, g(u, x_s) \geq 0 \right\} \quad (5)$$

Donde:

$z_1(u)$:	Función objetivo que caracteriza la efectividad de la distribución de piezas en la chapa.
z_1^{id} :	Valor ideal que puede alcanzar la función $z_1(u)$, sin tomar en consideración los posibles recorridos de la herramienta y su eficiencia.
$z_2(u, x_s)$:	Función objetivo que caracteriza la efectividad del recorrido de la herramienta de corte, la que depende necesariamente de las distribuciones posibles de las piezas en la chapa.
z_2^{id} :	Valor ideal que puede alcanzar la función $z_2(u, x_s)$, la que en la práctica puede tan solo ser estimada, por la dependencia del recorrido de la herramienta con respecto a la posición de las piezas.
w:	Denota el peso (o la importancia relativa) dado a los indicadores.

Dado el carácter de los procesos estudiados, el esquema de descomposición adoptado se corresponde con una organización sistémica, en la que cada órgano ejecuta la recepción y la elaboración de la información correspondiente, así como la entrega de la acción directiva a los objetos subordinados. Para la realización de la función de dirección, cada órgano local entra en intercambio informativo

con los otros órganos de dirección. Como resultado de este intercambio se concilian las acciones de los diferentes sistemas entre sí (Arzola *et al.* 2003).

Por otra parte, para cada distribución de piezas en la plancha existe un recorrido mínimo de la herramienta que, a su vez, satisface las restricciones tecnológicas del proceso. La generación de opciones de corte, próximas al máximo aprovechamiento de material, relacionadas con la información relativa al recorrido óptimo de la herramienta de corte, constituye una información que permite discriminar cuál entre las distribuciones satisface en mejor medida el compromiso entre los indicadores de eficiencia y a su vez, permite el análisis de la eventual conveniencia de la configuración geométrica del semiproducto después del corte, para su empleo como materia prima en posteriores procesos.

CONCEPCIÓN DE UN SISTEMA CAD/CAPP PARA LA DISTRIBUCIÓN Y CORTE DE PIEZAS IRREGULARES EN CHAPAS

Dada la complejidad de los procedimientos desarrollados, se propone su implementación en un sistema computacional, con la finalidad de automatizar todo el proceso de optimización y representación de los resultados gráficos. Esta herramienta computacional facilita el proceso de toma de decisiones por parte del diseñador o tecnólogo.

La disponibilidad de que el proceso de preparación para la fabricación transcurra en el mismo sistema CAD elegido, crea mejores condiciones para la integración de los datos de diseño con los de la preparación para la fabricación del producto, y permite el uso de un formato común para el tratamiento de la información gráfica, así como la posibilidad de usar el mismo ambiente de trabajo para las secciones CAD y CAPP.

De esta manera un sistema para la distribución y corte de piezas irregulares en superficies planas debe contar con un conjunto de partes o módulos (Figura 2), los cuales en sus funciones interrelacionadas garantizan la generación de soluciones al problema en estudio.



Figura 2. Esquema conceptual de un sistema CAPP para la distribución y corte de piezas en superficies plana.

Basado en esta estructura de sistema, se deben implementar los procedimientos requeridos por cada módulo y así garantizar la obtención de soluciones óptimas y fiables en espacios de tiempos acordes a las necesidades dentro del sistema de producción.

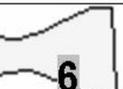
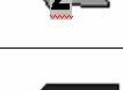
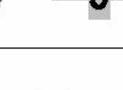
Actualmente, en las empresas de mecanizado para la industria minera del níquel en Cuba, la aplicación de este tipo de modelo o similares resulta insuficiente. La implementación de este tipo de resultados investigativos resulta necesario dentro de la industria minera donde los bajos índices de aprovechamiento de materiales durante el corte de chapas, el incumplimiento de los plazos de entrega del producto y la demanda de la reducción de los tiempos de fabricación, aumentan significativamente los costos de la producción. Es por ello que la inserción y explotación de un sistema CAD/CAPP para la distribución y corte de piezas irregulares en superficies plana constituye una importante vía en aras de la mejora económica del proceso productivo y la reducción de importaciones.

El esquema de solución propuesto ha sido implementado en una herramienta computacional, la cual se desarrolló en lenguaje AutoLISP, para su funcionamiento bajo la plataforma de AutoCAD. Esta herramienta computacional se ha denominado *DIPRONEST*.

El método *VFSRA* (*Very Fast Simulated Re-annealing Algorithm*) es considerado como uno de los enfoques de mejores resultados durante la generación de distribuciones de piezas irregulares en superficies planas (Yuping *et al.* 2003). Es por esta razón que el *VFSRA* se adopta como sistema de referencia para la comparación de resultados en el presente artículo.

Para la comparación del método propuesto se establecieron cinco conjuntos o lotes de piezas. Cada uno de estos lotes se compuso de 15 piezas de contorno irregular (Tabla 1) y se estableció una chapa rectangular de 1,5 x2 m como material base para las correspondientes distribuciones.

Tabla 1. Lotes de piezas seleccionados para la distribución. El valor numérico indicado en cada pieza representa las veces que se debe repetir en el lote

LOTES	PIEZAS POR LOTES				
1					
2					
3					
4					
5					

Los cinco lotes de piezas fueron distribuidos según: *VFSRA*, *DIPRONEST* y manualmente por un grupo de tecnólogos de gran experiencia en esta tarea dentro del sector industrial. Las diferentes distribuciones generadas por cada método, para cada uno de los lotes, fueron evaluadas según el consumo de materia prima requerido para su producción. En la Tabla 2 se resumen los datos obtenidos para cada una de las evaluaciones realizadas. Estos datos reflejan que las variantes de distribución obtenidas con *DIPRONEST* ofrecen menores valores de consumo de material con respecto a las variantes de distribución obtenidas a través del *VFSRA*. De esta manera se logra mejorar el aprovechamiento de material en un 10 % como promedio.

Los resultados obtenidos con *DIPRONEST* con respecto a las soluciones obtenidas manualmente logran mejorar el aprovechamiento de material en un 4 % como promedio, ofreciendo una considerable reducción de los tiempos de búsqueda de soluciones y el aumento de la cantidad de variantes a considerar. La magnitud de la reducción de los tiempos de búsqueda manual de soluciones, depende del grado de experticia del tecnólogo y las condiciones de entorno y psicológicas para su desempeño es por ello que no se presenta una comparación numérica del tiempo de generación de soluciones.

Tabla 2. Comparación de Resultados *DIPRONEST*, *VFSRA* y método manual

	NESTING MANUAL	NESTING VFSRA	NESTING DIPRONEST
Lotes	Uso Material (%)	Uso Material (%)	Uso de Material (%)
1	70,8	74,4	64,5
2	71,5	75,2	65,3
3	70,3	81	71,2
4	67,6	70,7	60,3
5	69,2	76,3	66,7
PROMEDIO	69,88	75,5	65,6

CONCLUSIONES

Para la concepción y desarrollo de un sistema CAPP destinado al corte de piezas irregulares en chapas para empresas de mecanizado en la industria minera, es necesario que dicho sistema obedezca en su función a los planteamientos generales siguientes:

- Un modelo de optimización que garantice la generación de soluciones según las condiciones tecnológicas de corte empleadas, criterios de eficiencia y criterios del decisor.
- Los procedimientos para la distribución en la superficie útil o materia prima precisan de la aplicación de técnicas y métodos de optimización que simplifiquen estas complejas tareas y permitan un procesamiento y entrega de la solución con gastos de tiempos y de material razonablemente bajos.

En las empresas de mecanizado para la industria minera, el empleo de técnicas o sistemas para la optimización de la planificación de los procesos productivos así como para la distribución y corte de piezas irregulares en chapas, resulta insuficiente.

Los resultados obtenidos a través de la comparación con métodos precedentes muestran un mejor desempeño del esquema propuesto, al generar soluciones que mejoran hasta un 10 % el aprovechamiento de material.

REFERENCIAS

- ARBEL, A. 1993: Large scale optimisation methods applied to the cutting stock problem of irregular shapes. *International Journal of Production Research* 31(2): 483—500.
- ARZOLA, J. 2000: *Sistemas de Ingeniería*, Editorial Félix Varela, La Habana.
- ARZOLA, J.; Simeón, R. & Maceo, A. 2003: El método de Integración de Variables. Proceeding del III Seminario Intensive Workshop on Optimal Design of Materials and Structures, París.
- HANNAN, R. 1998: Computer integrated manufacturing: from concepts to realisation. Addison-Wesley Publishing Co. Reading, Massachusetts.
- HEIZER, J. & RENDER, B. 2001: *Dirección de la Producción. Decisiones Tácticas*. Prentice-Hall. Pearson Education, Madrid.
- SIPPER, D. & BULFIN JR., R. L. 1998: *Planeación y control de la producción*. MacGraw Hill, México.
- XIE, S.Q. & ZHANG, W.J. 2008: Optimal sheet metal process planning an agent based approach. *Int. J. Mechatronics and Manufacturing Systems* 1(1): 56-62.

YUPING, Z.; SHOUWEI, J. & CHUNLI, Z. 2005: A very fast simulated re-annealing algorithm for the leather nesting problem. *Int J Adv Manuf Technol* 25: 1 113–1 118.

Arllys Michel Lastre Aleaga

Ingeniero Mecánico, Profesor Asistente,
Master en CAD/CAM. Centro de Estudios CAD/CAM,
Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

michel@cadcam.uho.edu.cu

Alexis Cordovés García

Ingeniero Mecánico, Profesor Titular, Dr.C Técnicas
Centro de Estudios CAD/CAM, Facultad de Ingeniería, Universidad
de Holguín, Holguín, Cuba.

cordoves@cadcam.uho.edu.cu

José Arzola Ruíz

Ingeniero Metalúrgico, Profesor Titular, Dr.C Técnicas
Departamento de Matemáticas, Instituto Superior Politécnico “José
Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba.

jarazola@ceter.cujae.edu.cu