

# Distribución y corte de piezas irregulares con anidamiento bidimensional en la industria minera

Arlys Michel Lastres Aleaga  
Alexis Cordovés García  
José Arzola Ruiz

## Resumen

La necesidad del ahorro de material durante el corte de piezas en chapas ha provocado el desarrollo de procedimientos y técnicas de optimización, con la ayuda de las nuevas tecnologías de la informática y las comunicaciones. A pesar de la existencia de diversas plataformas automatizadas para la generación de distribuciones y rutas de corte, el ahorro de material constituye un indicador de permanente atención en la industria minera. En el presente trabajo se ilustra el estado actual del desarrollo de las técnicas de distribución y corte de piezas en chapas y se define la concepción de un procedimiento para la distribución de piezas irregulares con anidamiento bidimensional.

## Palabras clave

Anidamiento bidimensional, CAD/CAPP/CAM, distribución en chapas, optimización, piezas irregulares.

## Two-dimensional irregular part cutting and distribution in mining industries

### Abstract

Optimization procedures and techniques have been generated by using new computer and communications technologies due to the necessity of saving on materials when cutting parts from metal plates. Although there are various automated platforms to produce distribution and cutting layouts, material saving is one indicator receiving constant attention by mining industries. This work describes the current development of techniques for distributing and cutting parts out of plates and defines the conception of a procedure for distributing irregular parts with two-dimensional nesting.

### Key words

Two dimensional nesting, distribution in plates, CAD/CAPP/CAM, optimization, irregular parts.

## INTRODUCCIÓN

La industria minera de forma general, se encuentra en un constante proceso de innovación tecnológica, una de las causas principales radica en el aumento de las exigencias impuestas por el mercado, las cuales demandan un producto cada vez más adecuado a los requerimientos del cliente. Esto conduce a la necesaria reducción de los costos, el aumento de la producción y un control sistémico en la calidad de los productos en aras de mantener un comercio sustentable (Mining Environmental Management 2001).

Durante la extracción de mineral, su procesamiento y comercialización, se requiere de la integración de un conjunto de subsistemas productivos. La fabricación y mantenimiento de maquinarias o componentes asociados a los diferentes procesos de la industria minera, constituyen un sector de suma atención por los recursos y esfuerzos demandados, así como por su directa influencia en los costos de producción. Las empresas de mecanizado, responsables de la fabricación de piezas o componentes para la industria minera, muestran un creciente interés en la reducción de los niveles de consumo energético y materiales, lo cual ha exigido un análisis de los métodos y tecnologías utilizadas en el diseño y los procesos de manufactura (Távora 1990).

Entre los procesos de manufactura que se desarrollan en las empresas de mecanizado para la industria minera, el corte de piezas en chapas constituye un área de especial atención, dada la ejecución de altos niveles de producción y el gran consumo de materiales asociado. La precisión y rapidez del corte influye determinantemente en los volúmenes de producción y la calidad del producto (Niebel 1965). El acceso a tecnologías de avanzada como el plasma, láser y chorro de agua, anuncian un aumento considerable en la exactitud de la pieza, pero implican un importante costo inicial para la adquisición de estas tecnologías, lo cual limita su uso sólo a grandes empresas. Junto con el avance de la tecnología para el corte de piezas en chapas se continúan desarrollando los métodos para la obtención del máximo aprovechamiento de la materia prima (Xie *et al.* 2001).

En la actualidad, el aprovechamiento del material durante el corte de piezas irregulares en chapas es aún insuficiente en las empresas de mecanizado, lo cual aumenta significativamente los costos del proceso productivo (Xie & Zhang 2008). Es por ello, que la planificación del corte con el fin de lograr el máximo aprovechamiento del material, constituye para estas empresas una importante vía de reducir los costos de producción.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis del desarrollo y aplicación de las tecnologías de avanzada para el corte de piezas irregulares en chapas, así como su aplicación y explotación en las empresas de mecanizado para la industria minera del níquel en Cuba.

### **EL PROBLEMA DEL CORTE DE PIEZAS EN CHAPAS**

La utilización óptima de la materia prima disponible es uno de los problemas más importantes en la industria del corte por su directa incidencia en los costos de producción. Incluso, en los procesos de producción bien organizados, tasas de desperdicio de material entre el 20 y 25 % son consideradas normales (De Vin *et al.* 1994). La tarea a resolver es la de diseñar patrones de corte óptimos, lo cual es extremadamente complejo y, la mayoría de las veces, imposible de realizar manualmente por el extraordinario número de variantes que pueden surgir, fundamentalmente cuando hay que cortar una gran cantidad de piezas. En el corte de piezas distribuidas en una superficie se destacan dos variantes posibles: el corte tipo guillotina y el corte irregular. Los trabajos de Dyckhoff (1990, 1992) permiten profundizar en este aspecto.

El corte con anidamiento bidimensional o *nesting*, pertenece a la variante de corte irregular y constituye una tarea de optimización combinatoria. Consiste en que una o más áreas de material deben ser divididas o cubiertas por los espacios menores que describen las piezas a cortar. Se persigue, por lo general, minimizar la pérdida del material inicial, al obtener distribuciones que aseguren la mayor cantidad de piezas que cubran el área de material disponible (Figura 1) así como, describir la ruta de corte mínima más conveniente en dependencia del

tipo de tecnología a utilizar. En la variante (b) de la Figura 1 se ilustra una distribución que permitió ubicar las piezas procesadas en la variante (a) y la inclusión de nuevas piezas.

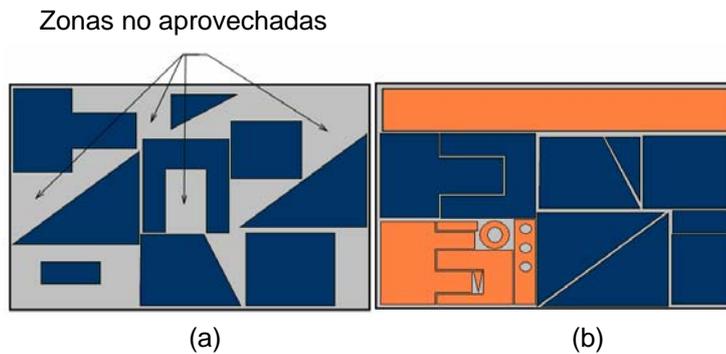


Figura 1. Variantes de distribución para el corte. (a) Distribución con bajo aprovechamiento del material. (b) Distribución con alto aprovechamiento.

Según la relación entre la forma geométrica de las piezas y la configuración de la chapa o material base, al aplicar el anidamiento bidimensional, pueden presentarse tres casos:

1. Cuando se asignan formas rectangulares sobre un material base rectangular.
2. Cuando se anidan perfiles irregulares sobre un material base de forma rectangular o viceversa.
3. Cuando se anidan perfiles irregulares sobre un material base de forma irregular.

El análisis geométrico de las piezas a cortar ha resultado un área de especial interés durante la búsqueda del posicionamiento de las mismas para obtener el máximo de aprovechamiento de material. La aproximación de la geometría de piezas irregulares resulta un método muy difundido durante la generación de distribuciones con anidamiento bidimensional. Consiste en aproximar el contorno real de la pieza a una forma menos compleja, sea hexagonal, rectangular u otra, con el objetivo de tratar el anidamiento con formas geométricas más simples, que faciliten el proceso de búsqueda y disminuyan el número de evaluaciones. Diversos autores han propuesto métodos destinados a la mejora del análisis geométrico de las piezas, entre los de mayor relevancia se pueden mencionar los siguientes:

**Not Fit-Poligon:** Técnica presentada por Art (1966). Su función principal consiste en describir una región entre dos polígonos realizando una evaluación de las posiciones entre los vértices que describen sus contornos, de esta manera se describe un polígono entre las dos piezas, en el cual las diferentes posiciones de colocación entre ellas nunca tendrán solapamiento. Luego de 10 años, esta herramienta de tratamiento gráfico fue reintroducida por Adamowicz & Albano (1976) al simplificar las piezas irregulares usando rectángulos y buscando el mínimo de área de acoplamiento entre ellos. Esta herramienta ha sido modificada y perfeccionada para su uso durante la generación de soluciones para el corte de piezas en chapas.

Burke & Kendall (1999a, 1999b) realizaron un estudio sobre la implementación de la técnica del "not fit-poligon" con diferentes métodos de búsqueda, emplearon los algoritmos genéticos, búsqueda tabú, enfriamiento simulado y la colonia de hormigas. La integración de cada uno de estos métodos con la técnica del "*not fit-poligon*" les facilitó datos comparativos para determinar en cuáles de los casos existían las soluciones de mayor calidad, así como los menores tiempos de ejecución y procesamiento. Este estudio fue realizado con el fin de demostrar la efectividad del método de colonias de hormigas, lo cual arrojó resultados alentadores, pero la búsqueda tabú y el enfriamiento simulado dieron mejores aportes con la integración de la técnica del "*not fit-poligon*". Burke *et al.* (2007) propusieron mejoras en la robustez de la técnica para el tratamiento de cavidades interiores y agujeros en la pieza.

Gómez & Oliveira (2002) proponen la integración de la técnica del "*not fit-poligon*" con un procedimiento de búsqueda aleatorio, conocido por GRASP (*Greedy Randomised Adaptive Search Procedure*). Sus resultados, aunque no concluyentes, fueron favorables al ser comparados con otros procedimientos reportados en la literatura.

Hu-yao & Yuan-jun (2006) proponen el uso de la técnica del "*not fit-poligon*" adicionando el análisis rotacional de la pieza desde su centro

de gravedad; esta modificación posibilita extender la técnica del "*not fit-poligon*" no solo a la traslación entre las piezas por sus lados geométricos, sino que además permite considerar las diferentes posiciones según su ángulo de inclinación. Esta técnica fue integrada a un método de búsqueda basado en algoritmos genéticos, lo cual le proporcionó resultados satisfactorios para el tratamiento de piezas irregulares en pequeños lotes y sobre chapas de forma rectangular.

**Aproximación Rectangular:** Consiste en el acercamiento de las piezas irregulares en un módulo rectangular, el cual consta con un área de desecho mínima. Adamowicz & Albano (1976) propusieron este método, en el cual el módulo del rectángulo mínimo se crea en la frontera de una pieza irregular donde no se conecta por ningún punto de convexidad. Este módulo puede contener sólo una pieza si la forma geométrica de la misma es similar al rectángulo. Sin embargo, si la pieza tiene una forma muy irregular, dos o más piezas de esa forma pueden conformar el mismo módulo rectangular. Esta técnica logra el acercamiento y posicionamiento final realizando giros de los módulos rectangulares en 180 grados, garantizando que pueda crearse un acercamiento rectangular mínimo.

**Minimal Area Convex Enclosure Problem:** Esta técnica fue creada para determinar geoméricamente el área mínima convexa entre dos polígonos de forma irregular, el método fue conocido como *MACEP* por sus siglas en inglés. Propuesto inicialmente por Grinde & Cavalier (1995) y posteriormente perfeccionado para el anidamiento bidimensional, integrándolo a métodos de búsqueda heurísticos, búsqueda tabú, enfriamiento simulado, entre otros.

Al igual que el procesamiento geométrico, la generación de variantes de distribución y el análisis de restricciones, resulta un área de sumo interés para la industria del corte de piezas en chapas; este tema ha sido enfocado a través de una variedad de algoritmos que utilizan diferentes técnicas y representaciones. Los mejores resultados han sido obtenidos en la distribución de piezas simples y pequeñas, como piezas rectangulares. Cuando el problema enmarca el anidamiento de formas más complejas, el espacio de la solución crece

exponencialmente, donde un conjunto de técnicas heurísticas y bioinspiradas han logrado una mejor aproximación a la solución optimizada del problema. Entre los procedimientos para afrontar esta tarea podemos mencionar los siguientes:

**Método Simplex con Programación Lineal:** Fue propuesto por Paull (1956), para reducir la pérdida de material durante la producción de una demanda especificada de rollos de papel para la tirada del periódico. Este caso de estudio se convirtió en el problema del *stock* del corte dimensional y para su solución se propuso el empleo del método *simplex* con programación lineal, restringiendo las dimensiones y cantidades de rollos de papel que podrían solicitarse.

**Redes Neuronales:** Poshyanonda *et al.* (1992a), proponen un modelo en el cual se integran las redes neuronales artificiales con métodos de aproximación heurísticos, con el fin de optimizar el problema del corte bidimensional; este modelo solamente es eficientemente aplicable para la distribución de piezas rectangulares. En 1994 se representó el problema del anidamiento como un genotipo dimensional que contiene la sucesión para la colocación de la pieza. De esta forma se evalúa la aptitud de cada genotipo, restringiendo las soluciones viables sin utilizar un factor de parada. Este método de restringir el espacio de búsqueda evita las soluciones no factibles, pero contiene brechas en la posibilidad de incluir algunas soluciones potencialmente buenas dentro del espacio de solución, lo que provoca el no aprovechamiento del entorno de evaluación en su totalidad y dificulta el mecanismo de búsqueda de la solución óptima.

Poshyanonda & Dagli (1992b), proponen un modelo para la solución del corte con anidamiento, conciliando las redes neuronales con los algoritmos genéticos. En este modelo la red neuronal artificial es utilizada luego que el algoritmo genético y garantiza la secuenciación genética, de esta manera se complementan detalladamente las variantes de anidamiento o colocación. Este método de solución es aplicable solo para distribuir piezas rectangulares en superficies patrones (materia prima) también de forma rectangular.

**Híbridos de Consolidación:** Li & Milenkovic (1995) proponen un algoritmo de consolidación como una herramienta para los problemas del anidamiento bidimensional. Ellos presentan a un nuevo modelo de posicionamiento basado en una función objetivo lineal, de esta manera se calculan directamente las nuevas posiciones que no contienen superposición como un mínimo local dentro de dicha función objetivo. La creación de este algoritmo de consolidación es basada en las sumas de Minkowski (Pustylnik & Sharif 2003, Stoyan & Ponomarenko 1977), y resulta similar a la idea del *"not fit-poligon"*. Este tipo de algoritmo presentaba soluciones de alta calidad pero el tiempo de cálculo es muy alto para ser utilizado en un sistema práctico, sobre todo al ser combinado con métodos de anidamiento directos.

Hopper & Turton (2001) realizaron estudios y comparaciones durante la aplicación de algoritmos en diferentes secuencias de distribución para el corte de piezas, tanto para anidamiento de piezas rectangulares como de piezas irregulares. Ellos determinaron luego de comparar varias técnicas (algoritmos genéticos, recocido simulado, búsqueda aleatoria y el método *simplex*), que si bien los algoritmos genéticos representaban una buena solución al problema del anidamiento, solo era meritorio su desempeño durante la evaluación de pequeños o medianos entornos de evaluación. Sin embargo, los acercamientos meta-heurísticos tenían una mejora sustancial de la evaluación y búsqueda en grandes entornos de evaluación, limitada en la calidad de la solución, a expensas del tiempo cómputo adicional.

Fischer & Dagli (2004) realizaron representaciones del problema, un tanto más eficaces, a través de métodos híbridos. Sin embargo, para la solución de problemas de anidamiento bidimensional mucho más complejos, la reducción del espacio de la búsqueda y el gasto de tiempo de cálculo aún debe ser resuelto.

Yuping *et al.* (2005) plantearon aportes de consideración que permitieron extender el uso de esta técnica para una aproximación a las soluciones óptimas teniendo en cuenta piezas de contorno irregular. Dentro de su análisis plantearon que para el uso eficiente

de su modelo debería considerarse que las chapas utilizadas como materia prima debían tener la misma geometría y que el número de piezas a cortar fuese moderado, luego los perfiles geométricos que describen las piezas serían aproximados por segmentos de recta para formar polígonos de cierre. Este método, pese a su gran aporte, revela por mediciones que realizan los propios autores, que el tiempo de generación de soluciones oscila entre 15 a 30 minutos para un lote de 10 a 20 piezas, lo que es un tiempo considerablemente alto teniendo en cuenta la magnitud de los lotes que se analizan.

Dagli & Tatoglu (1987) desarrollaron un acercamiento heurístico diferente de los anteriores, en el cual empleando criterios de prioridad lograron controlar el orden de combinación de los modelos rectangulares. Haciendo coincidir los lados de dos modelos rectangulares, se combinan entre sí y generan a su vez un grupo de acoplamientos que se enmarcan dentro de un nuevo modelo rectangular. Teniendo este grupo de combinaciones el próximo modelo en análisis se combina con los existentes generando un nuevo grupo de modelos que contienen a diferentes piezas.

La mayoría de los resultados teóricos mencionados anteriormente, favorecen la reducción del tiempo de obtención de la solución a razón de la disminución de los tiempos empleados al aplicar los métodos de búsqueda durante la convergencia de la variante óptima. Así, el tiempo empleado durante el posicionamiento y análisis geométricos es considerado un tiempo de trabajo obligatorio cuya magnitud depende de la complejidad que posean las piezas en análisis.

Por otra parte, la influencia de las plataformas CAD/CAM en las empresas de mecanizado para la industria minera, ha tenido una amplia repercusión principalmente en los departamentos de diseño, donde el empleo de paquetes profesionales de dibujo y simulación ha jugado un papel fundamental en el aumento de la productividad y calidad del producto final. Sin embargo, la aplicación de herramientas CAD/CAPP/CAM para el corte de piezas en chapas en las empresas de mecanizado, aún marcha a pasos muy lentos (Xie & Zhang 2008), siendo la experiencia y la habilidad de los tecnólogos la única vía para

la búsqueda de soluciones de distribución de piezas y ahorro de material de la chapa.

Para el desarrollo de sistemas computacionales comerciales, en particular los CAPP, se implementan, como regla, los resultados de investigaciones de carácter teóricos más relevantes alcanzados en las áreas de aplicación correspondientes. Los sistemas computacionales, destinados a dar cumplimiento a la distribución y corte de piezas sobre superficies planas existentes en el mercado, poseen diferente nivel de desempeño según varía su forma de distribución, generación de las rutas de corte y los tipos de piezas procesadas, de acuerdo a su geometría.

En la Tabla 1 se describen las características principales de los sistemas CAPP más difundidos, destinados a la distribución y corte de piezas irregulares sobre superficies planas.

Tabla 1. Sistemas CAPP más difundidos para la distribución y corte de piezas

<b>Sistemas Computacionales</b>	<b>Distribución Automática</b>	<b>Ruta de Corte Automática</b>	<b>Tipo de Piezas</b>
Packopt	+	-	Rectangulares
Optimizer Anyshape	+	-	Irregulares
Corte Certo	+	-	Rectangulares
Lantek Expert Cut	+	+	Irregulares
Optimumcut-1D	+	+	Rectangulares
Modcor Top	+	+	Rectangulares
AutoForm-Nest	+	-	Rectangulares
Nest Master	+	-	Irregulares
TurboNest	+	-	Irregulares

Los procedimientos teóricos y sistemas computacionales analizados, al trabajar con piezas que presentan una configuración irregular, por lo general, realizan una aproximación de su geometría a una forma más simple, de esta manera se cuenta con una nueva estructura compuesta por un menor número de lados para su evaluación. Esta aproximación geométrica reduce el tiempo de búsqueda para encontrar la mejor posición de una pieza respecto a otra, pero a su

vez afecta directamente a la eficiencia económica de la solución general, puesto que demanda un mayor consumo de material.

### **APLICACIÓN Y EXPLOTACION EN LA INDUSTRIA MINERA**

Un gran número de componentes, partes o piezas destinadas a la industria minera del níquel en Cuba, son obtenidos a partir del corte de chapas. Entre los componentes de regular fabricación podemos mencionar los tanques de depósito, elementos estructurales para soportes, tolvas, anillos y bridas de unión.

Las empresas de mecanizado, por lo general, adolecen de la aplicación de sistemas CAD/CAPP/CAM para la optimización de material durante el corte de piezas irregulares en chapas. En algunas de estas empresas donde se han podido adquirir modernas máquinas herramienta para el corte de chapas (máquinas de control numérico computarizado CNC), por lo general la utilización de sistemas como, Lantek, Expert Cut, FastNEST y TurboNest resulta muy baja, ocasionado por limitaciones operacionales propias de estos sistemas para el trabajo con tipos específicos de piezas y otras causas, por lo general, de índole económico para la adquisición y mantenimiento de estos sistemas.

La Empresa Mecánica del Níquel "Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche " ubicada en Moa, posee una máquina de corte por plasma CNC, modelo Merlin 6000GST, la cual recibe como órdenes o información directiva, las distribuciones y rutas de corte generadas en el sistema TurboNest. La versión en explotación de este software no posee tratamiento ni generación automática de distribuciones para piezas irregulares, no optimiza material y la trayectoria o ruta de corte se describe por el tecnólogo de forma manual. De esta manera sin dejar de constituir una herramienta de ayuda para la gestión y corte de piezas en chapas, no aporta soluciones que aseguren el máximo aprovechamiento de material y el mínimo recorrido de la herramienta de corte.

## **PROPUESTA DE INTEGRACIÓN PARA LOS SISTEMAS CAD/CAPP/CAM ASOCIADOS A LAS TAREAS DE CORTE Y DISTRIBUCIÓN DE PIEZAS IRREGULARES EN CHAPAS**

La consideración de información sobre la manufactura en la etapa de diseño alcanza cada vez mayor importancia. Los sistemas CAD en su mayoría ignoran esta realidad ya que no han sido concebidos sobre la base de una integración entre las etapas de diseño y fabricación. Por otro lado, para suplir esta deficiencia, los sistemas CAM consideran el dibujo y el uso de algoritmos de reconocimiento, como técnicas alternativas para el completamiento de la información necesaria para la manufactura no contenida en el diseño del producto (Hannan 1998).

Un sistema automatizado para la generación de variantes de distribución y corte de piezas irregulares en chapas se subordina a un sistema de mayor envergadura, destinado al diseño y manufactura de piezas, conjuntos o máquinas. De tal forma, el sistema automatizado objeto de estudio recibe, en calidad de información directiva del diseño (CAD), los planos, características geométricas y especificaciones constructivas de las piezas a cortar. De la misma manera recibe datos específicos procedentes de la planificación general del proceso de producción, entre los cuales se encuentran la secuencia productiva, el tipo de producto a fabricar, su volumen de producción y la definición de los tiempos de entrega.

La planificación del proceso de fabricación (CAPP) establece una relación bilateral de análisis e intercambio de información con los procesos de manufactura (CAM) que rigen la ruta tecnológica para la elaboración del producto. En un sentido, el sistema en estudio precisa de las especificaciones acerca del proceso tecnológico para el corte, las que dependen de la tecnología empleada, ya sea: corte por láser, plasma, electro-erosión u oxicorte. Estas especificaciones definen determinados parámetros durante el proceso de distribución de las piezas tales como: la distancia entre piezas, restricciones en la ruta de corte, entre otros.

En el otro sentido, la información detallada del proceso de corte de las piezas en la chapa generada en el CAPP es transferida hacia

manufactura, específicamente al proceso de corte, con las instrucciones necesarias para la fabricación de las piezas (Figura 2).

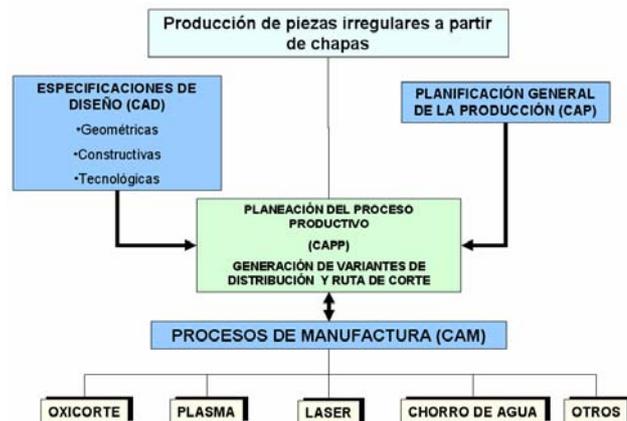


Figura 2. Esquema de integración de los sistemas CAD/CAPP/CAM asociados a las tareas de corte y distribución de piezas irregulares en chapas.

La mayoría de los estudios que abordan la distribución y corte de piezas irregulares en chapas, reducen el tiempo general de obtención de la solución, a razón de la disminución de los tiempos empleados por los métodos de búsqueda durante la convergencia de la variante óptima, convirtiéndose así el tiempo empleado por los métodos de posicionamiento y análisis geométricos, en un tiempo de trabajo obligatorio, según la complejidad que posean las piezas en análisis.

A pesar de logros científicos mencionados, relacionados al corte de chapas con anidamiento bidimensional o nesting, encaminados a obtener las mejores soluciones para el corte de un determinado lote de piezas asegurando el máximo aprovechamiento de la materia prima, mínima trayectoria de corte y la disminución de los tiempos de generación de soluciones, se pueden señalar las vías principales de investigación y desarrollo siguientes:

- Integración de los procesos de distribución y corte de piezas en chapas en un solo proceso, ya que la mejor distribución no necesariamente se corresponde con la mejor trayectoria de la herramienta de corte.
- Elaboración y/o selección de métodos más efectivos de optimización de la distribución de piezas de configuración irregular.
- Desarrollo de métodos más eficientes de tratamiento geométrico de las piezas irregulares.

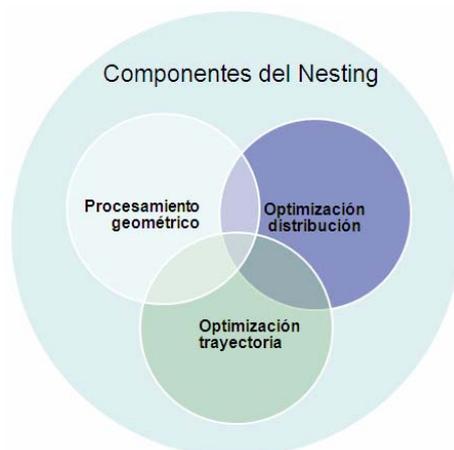


Figura 3. Áreas de investigación y desarrollo para el Nesting.

La evaluación de diferentes parámetros como: la tecnología de corte, el tipo de material, los espesores de corte, el acabado de la pieza, la precisión, la zona afectada térmicamente, la necesidad de operaciones secundarias, la complejidad de las piezas a cortar, los costos de operación, entre otros, permiten la concepción y ajuste de las operaciones tecnológicas así como, la generación de distribuciones y rutas de corte, acordes con la tecnología y capacidad de producción disponibles en el taller.

Es por ello que un sistema encargado de la generación de variantes para el corte de piezas irregulares en chapas debe permitir durante la evaluación y generación de soluciones, la integración entre los procedimientos de: generación de variantes para secuencias de distribución, procesamiento geométrico y el análisis de las restricciones del proceso tecnológico a emplear. Garantizando la reducción de los tiempos de generación de las soluciones.

Del análisis de la bibliografía relacionada con el tema objeto de estudio y de las características de los sistemas computacionales antes mencionados, se puede establecer un conjunto de consideraciones para mejorar los fundamentos científicos y el desempeño de este tipo de aplicaciones, durante la generación de soluciones a la tarea en estudio. Un sistema CAPP para la distribución y corte de piezas

irregulares en chapas, presupone el cumplimiento de los aspectos siguientes:

- Consideración del proceso de diseño de las piezas.
- Análisis de información tecnológica: La mayoría de los sistemas estudiados no consideran información del proceso de fabricación durante la generación de soluciones.
- Empleo de métodos eficientes de procesamiento geométrico: Los sistemas que consideran la distribución de piezas irregulares establecen aproximaciones de la geometría de las mismas, lo cual afecta directamente al consumo de materiales.
- Integración CAD/CAPP/CAP/CAM, sobre la base de la aplicación de los logros teóricos vinculados a la Teoría de Sistemas: Ninguno de los procedimientos teóricos y sistemas computacionales consultados consideran este tipo de enfoque de integración.
- Aplicación de procedimientos para la descomposición de tareas complejas de optimización y composición posterior de soluciones a las subtareas derivadas: los procedimientos teóricos estudiados no aplican los logros obtenidos en esta área, lo cual resulta una limitante para el planteamiento y solución de la tarea en estudio en toda su complejidad.
- Generación de variantes de distribución y corte próximas a las óptimas del modelo implementado al sistema: de esta manera el tecnólogo puede incluir su criterio de experto dentro del proceso de toma de decisiones y satisfacer su sistema completo de preferencias.

El grado de automatización y la efectividad de un sistema CAPP, o de cualquier sistema destinado a la toma de decisiones, está vinculado a su capacidad de preparar soluciones que satisfagan los objetivos reales del diseñador. En efecto, la ejecución de un diseño paso a paso o de la tecnología de su fabricación por el operador, sin un enfoque integrador de la tarea que se resuelve, incluso ayudado por medios computacionales, constituye un proceso laborioso y de reducida efectividad. La optimización de estas tareas requiere, en teoría, tan solo de la caracterización de los objetivos que se persiguen y el sistema por su parte se encarga de la

elaboración de las opciones de solución, lo que implica el incremento de su efectividad y grado de automatización.

### **CONCLUSIONES**

La mayoría de los métodos de procesamiento geométrico estudiados en la bibliografía no trabajan con la superficie real de la pieza, lo que provoca la generación de variantes de solución con un mayor consumo de material.

Las tareas de distribución y generación de trayectorias de corte en la bibliografía consultada se estudian como tareas independientes, sin considerar su interrelación, inherente al proceso de corte.

Ninguno de los trabajos consultados enfrenta el problema de la integración CAD/CAPP/CAM para la tarea en estudio, sobre la base de principios sistémicos.

La utilización de sistemas CAPP en empresas de mecanizado para la industria minera resulta insuficiente y se precisa la aplicación de herramientas que permitan la obtención de soluciones para el corte de piezas irregulares en chapas con un uso racional del material y del tiempo empleado en el proceso.

### **REFERENCIAS**

- ADAMOWICZ, M. & ALBANO, A. 1976: Nesting two dimensional shapes in rectangular modules. *Computer Aided Design* 8(1): 27–33.
- ART, R.C. 1966: An approach to the two dimensional irregular cutting stock problem. IBM Cambridge Scientific Centre. Report 36-Y08.
- BURKE, E. & KENDALL, K.G. 1999: Applying Simulated Annealing and the No Fit Polygon to the Nesting Problem. Conference of the World Manufacturing Congress. September, Durham, UK.

- BURKE, E. & KENDALL, K.G. 1999b: Applying Evolutionary Algorithms the No Fit Polygon to the Nesting Problem. International Conference on Artificial Intelligence (IC-AI '99), Monte Carlo Resort, Las Vegas, Nevada, USA, 28 June - 1 July.
- BURKE, E.K.; HELLIER, R.S.R.; KENDALL, G. & WHITWELL G. 2007: Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem. *European Journal of Operational Research* 179: 27–49.
- DAGLI, C. H. & TATOGLU, M. Y. 1987: An approach to two-dimensional cutting stock problems. *International Journal of Production Research* 25: 175-190.
- DE VIN, L.J.; DE VRIES, J.; STREPPPEL, A.H.; KLAASSEN, E.J.W. & KALS, H.J.J. 1994: The generation of bending sequences in a CAPP system for sheet-metal components. *Journal of Materials Processing Technology* 41: 102-137.
- DYCKHOFF, H. 1990: A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research* 44(2): 145-159.
- DYCKHOFF, H. & Finke, U. 1991: *Cutting and Packing in Production and Distribution*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- FISCHER, A.D. & DAGLI, H. 2004: Employing subgroup evolution for irregular-shape nesting. *Journal of Intelligent Manufacturing* 15(2): 187-199.
- GÓMEZ, A.M. & OLIVEIRA, J.F. 2002: A 2-exchange heuristic for nesting problems. *European Journal of Operational Research* 141: 359–370.
- GRINDE, R.B. & CAVALIER, T.M. 1995: A new algorithm for the minimal-area convex enclosure problem. *European Journal of Operations Research* 84: 522–538.
- HANNAN, R. 1998: Computer integrated manufacturing: from concepts to realisation. Addison-Wesley Publishing Co. Reading, Massachusetts.
- HOPPER, E. & TURTON, B.C.H. 2001: A review of the application of meta-heuristic algorithms to 2D strip nesting problems. *Artificial Intelligence Review* 16(4): 257-300.

- HU-YAO, LIU & YUAN-JUN, HE. 2006: Algorithm for 2D irregular-shaped nesting problem based on the NFP algorithm and lowest-gravity-center principle. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 4: 570-576
- LI, Z. & MILENKOVIC, V.J. 1995: Compaction and separation algorithms for non-convex polygons and their applications. *European Journal of Operational Research* 84: 539-561.
- MINING ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. 2001: Codelco cutting emissions: Mining Environmental Management, July, p.6.
- NIEBEL, B.W. 1965: Mechanized Process Selection for Planning New Design, ASME Paper No. 737.
- PAULL, A. E. 1956: Linear Programming. A Key to Optimum Newaprint Production. *Pulp and Paper Magazine of Canada* 1 :3-14.
- POSHYANONDA, P.; BAHRAMI, A. & DAGLI, C. 1992a: Artificial neural networks in stock cutting problem, In: Shin, Y.C., Abodelmonen, A.H. and Kumara, S. (eds). *Neural Networks in Manufacturing and Robotics*, ASME Press, New York, p. 143-153.
- POSHYANONDA, P. & DAGLI, C. 1992b: A hybrid approach to composite stock cutting: neural networks and genetic algorithms, In *Robotics and Manufacturing: Recent Trends in Research, Education and Applications*, Vol. 4, Jashidi, M., Lumia, R., Mulling, J. and Shahinpoor, M. (eds), ASME Press, New York, pp. 775-780.
- PUSTYLNİK, G. & SHARIR, M. 2003: The Minkowski sum of a simple polygon and a segment. *Inf Process Lett* 85: 179-184.
- STOYAN, Y. & PONOMARENKO, L.D. 1977: Minkowski sum and hodograph of the dense placement vector function, Technical Report, SER. A10, Reports of the SSR Academy of Science.
- TAVORA, J. 1990: Path planning for class cutting operations. Proceedings of VII SPIE meeting application of artificial intelligence, SPIE 1095, 405-515.

- XIE, S.Q; TU, Y.L; LIU, J.Q & ZHOU, Z.D. 2001: Integrated and concurrent approach for compound sheet metal cutting and punching *International Journal of Production Research* 39 :1 095-1 112.
- 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: 1113–1118

**Arlys 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](mailto: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](mailto: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.

[jararzola@ceter.cujae.edu.cu](mailto:jararzola@ceter.cujae.edu.cu)