

“Diseño de una heurística para resolver el problema de corte bidimensional rectangular en una empresa metalúrgica”

David De Santis Bermeo⁽¹⁾ Sthefany Vargas Cuesta⁽²⁾ Ing. Guillermo Baquerizo Palma⁽³⁾
Instituto de Ciencias Matemáticas (ICM)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
dade@espol.edu.ec⁽¹⁾, sthcavar@espol.edu.ec⁽²⁾, gbaqueri@espol.edu.ec⁽³⁾

Resumen

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de una heurística que dará como resultado un plan de corte, para piezas estrictamente rectangulares, sobre planchas también rectangulares de la misma dimensión, que tendrá como objetivo minimizar el número de planchas utilizadas de tal manera que se satisfaga la demanda por cada tipo de piezas. La heurística consistirá de 2 fases, en la primera fase se obtendrá una solución inicial, y en la segunda fase se mejorará la solución obtenida en la primera a través de un algoritmo que buscará la utilización de áreas desperdiciadas. Esta heurística será aplicada en una simulación para un proyecto real en una empresa metalúrgica existente en la ciudad de Guayaquil. El proyecto de esta empresa consiste en la fabricación de 3 tipos de recipientes de metal, que se utilizarán para el almacenamiento de algún material, a los cuales se denominarán A, B y C. Finalmente se analizarán los resultados obtenidos, se cuantificará el ahorro en relación a la forma tradicional en que se desarrolla esta actividad en la empresa, se determinarán los aspectos positivos y se señalará cuáles serán los aspectos a tomar de ésta heurística en futuras investigaciones para distintas aplicaciones. Desde el punto de vista teórico se ahondará en el problema de corte y empaquetamiento (C&P), específicamente en el problema de cutting stock en dos dimensiones con corte guillotina, intentando realizar un pequeño aporte a este campo del conocimiento.

Palabras Claves: *Elaboracion de Recipientes, problema de Corte y Empaquetamiento (C&P), plan de corte, Algoritmo de mejora.*

Abstract

This work is focus in the development of a Heuristic that will give a cutting design plan for rectangular pieces over also rectangular plates, this heuristic will aim to (reduce waste materials) and take advantage of every piece of resource that we have and will improve the rent ability of the project. The heuristic will come in two phases, the first one will give us the initial solutions and the second phases throw at algorithm will search to minimize the wasted of the materials. This heuristic will apply in a real metallurgical factory in Guayaquil. The project in this factory will be design to make 3 different kind of container cups, we going to name as A, B and C for this project. Finally the result will be analyzed and the conclusion will be measure the savings compare to the traditional method using actually in this factory. Determine the positive aspects of the heuristic and point out which steps will be taken for future research in other applications. From the theoretical point of view, we will study the problem of cutting system and packaging (C&P), specifically about the cutting stock problem in two dimensions. Trying to make a contribution to this field using a heuristic.

Keywords: *Cutting and Packing problem (C&PP), Cut plan.*

1. Introducción

El presente trabajo se enfocara en problemas muy frecuentes en la industria tanto de textiles, vidrios, metales, y otros mas, en los cuales se desea cortar áreas grandes para obtener áreas pequeñas, dada una demanda establecida previamente. Por lo general, la empresas aun desconocen técnicas de optimización que les permita planificar como cortar su materia prima de tal manera que minimicen el desperdicio, lo que los lleva a incurrir en planificaciones basados exclusivamente en la intuición, lo que en muchos de los casos hace que se incurran en costos mayores de lo necesario en la adquisición de la materia prima. Por tal motivo en la presente hemos desarrollado una heurística que nos permita realizar la planificación de patrones corte, para áreas fijas, de tal manera que se satisfaga una demanda prestablecida minimizando en numero de áreas a utilizar.

El presente trabajo ha sido realizado, en una empresa metalúrgica, de la ciudad de Guayaquil, dedicada a la construcción de obras de metal, de acuerdo a las especificaciones del cliente. El trabajo consistía en la fabricación de 3 tipos de recipientes ver figura 1, es importante acotar que las medidas son especificaciones del cliente.

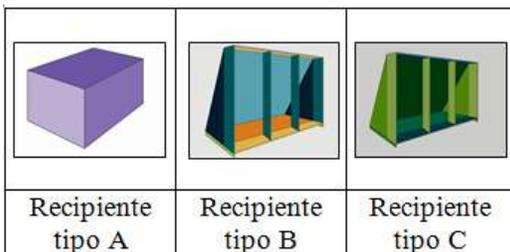


Figura 1 Tipo de recipientes

El número de recipientes a elaborar por cada tipo es el siguiente:

Tipo A: Cuerpo tridimensional forma de paralelepípedo. 120 unidades

Tipo B: Cuerpo tridimensional forma irregular. 130 unidades

Tipo C: Cuerpo tridimensional forma irregular. 100 unidades

El proceso de elaboración es el siguiente:

- 1.-Adquisición de la materia prima, de a poco viendo como se va satisfaciendo la demanda.
- 2.-Determinación de las piezas necesarias para la elaboración de todas las obras a trabajar
- 3.-El operario de la cizalla, las piezas que requieren, el cual después de un calculo intuitivo determinara el numero de planchas a utilizar
- 4.-Se sueldan las piezas, armando las respectivas obras
- 5.-Se pule y pintan las obras terminadas

Nuestro objetivo será desarrollar una herramienta de planificación de corte, para obtener los patrones de como cortar minimizando el número de planchas a utilizar, para piezas exclusivamente rectangulares.

2. Marco teórico

Este problema visto desde el punto de vista teórico se enmarca dentro de Los Cutting and Packing Problems (C&PP) (Problemas de cosrte y empaquetamiento), específicamente en la clase Problema de cutting stock en dos dimensiones [1], Los C&PP consisten en colocar o cortar un conjunto de elementos, por lo general pequeños, en uno o más objetos de mayores dimensiones, sin que se superpongan, con el objetivo de minimizar/maximizar una función objetivo dada [1]. Estos problemas tienen diversas aplicaciones en las industrias de la madera, del vidrio, del metal y del cuero, como también en el diseño de circuitos integrados, en el paginado de periódicos y sin lugar a duda en la distribución ya que su aplicación permite obtener patrones de ubicación de productos que maximiza el espacio de camiones de diferente tipo. En este caso el problema planteado consiste en que dado un conjunto de elementos (piezas) i , cada una con su respectiva ancho $A(i)$ y largo $L(i)$ y con una demanda a cubrir $D(i)$, y una cantidad ilimitada de rectángulos grandes(planchas), se busca el colocar estas piezas en estas planchas de tal manera que se utilice el menor numero de planchas.

Otras características importantes de este problema son:

Las piezas son estrictamente rectangulares, es decir no se admiten piezas circulares triangulares o irregulares.

Se permite el volteo de las piezas exclusivamente en 90 grados, es decir de una orientación vertical a una horizontal, o viceversa

El corte será guillotinado, esto como restricción de las maquinas tales como cizallas, que son las que se usan en este taller, es decir se hace un solo corte, entonces la línea imaginaria de corte deberá no cruzar por la mitad a alguna pieza. Ver figura 2



(a) (b) (c)

Figura 2 Ejemplos de patrones con cortes ortogonales: (a) corte no guillotina; (b) corte guillotina; (c) corte guillotina en niveles [1]

3. Desarrollo

Lo primero que haremos antes de comenzar con el desarrollo de nuestra heurística será el determinar el número de piezas a cortar, para esto consideraremos todas las piezas que conformaran cada recipiente, el ancho y largo de estas piezas, y posteriormente calcularemos la demanda de cada tipo de pieza lo cual se lograra multiplicando el numero de algún tipo de pieza que se va a colocar en el recipiente por la demanda de ese recipiente. En la figura 3, figura 4, figura 5 se pueden apreciar las diferentes piezas a cortar

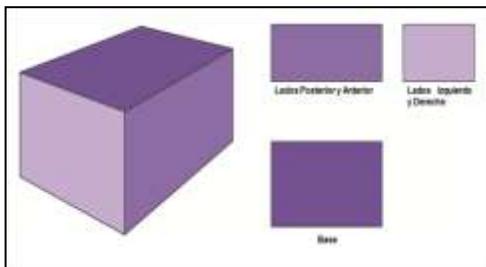


Figura 3 Recipiente tipo A

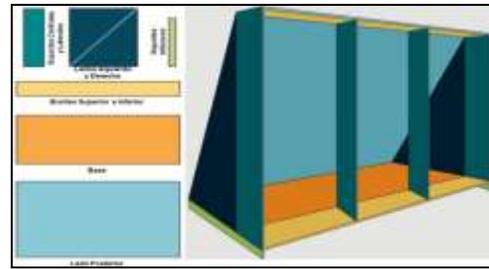


Figura 4 Recipiente tipo B

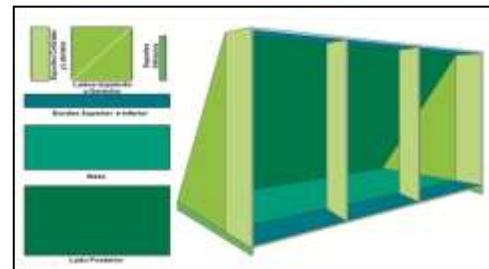


Figura 5 Recipiente tipo A

Obteniendo esta matriz de requerimientos, la cual nos indica que existen 15 tipos de piezas diferentes i cada una con un Ancho (i), un Largo (i) y una Demanda (i), Tabla 1

Tabla 1 Tabla de requerimientos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ancho [cm]	16	16	24	27	27	43	8	8	2	22	22	35	5	5	2
Largo [cm]	38	24	38	66	33	66	66	33	27	55	27	55	55	27	22
Demanda	120	240	240	150	150	130	260	260	520	100	100	100	200	200	400

Este será el input para nuestra heurística, la cual empezara con un algoritmo glotón, colocando las piezas en forma ordenada de la mayor a la menor considerando el largo, en la primera plancha respetando el ancho y largo de cada plancha y cuando ya no puede seguir colocando en la primera proseguirá con la segunda la tercera y así hasta haber colocado todas las piezas en alguna plancha.

El numero total de planchas utilizadas sera la respuesta del algoritmo glotón

```

Mientras  $i < \text{numero total de corte}$ 
  Mientras  $\sum_{j=1} \text{mayores}(j) < \text{DimensionA}$ 
    Mientras  $\sum_k \text{Elementos}(i,j,k) < \text{DimensionL}$ 
      Ancho( $p,j,k$ ) =  $Af(i)$ 
      Largo( $p,j,k$ ) =  $Lf(i)$ 
    fin
  fin
fin

```

Figura 6 Algoritmo Glotón

Luego de esto se procederá a lo que hemos llamado “Algoritmo de mejora”, el cual tomara la solución obtenida por el algoritmo glotón y procederá a buscar todos los espacios no utilizados en todas las planchas en esta solución obteniendo las dimensiones de estos espacios.

Luego tomara desde la última pieza ubicada en la última plancha y la colocara en alguno de los espacios encontrados, luego ubicara la segunda pieza en el mismo espacio y así hasta que las dimensiones de el área me lo permitan, este llenado será parecido a el algoritmo glotón inicial.

La colocacion de las piezas pueden tener 2 sentidos, horizontal o vertical y esto lo dara el criterio de selección aquí descrito[2]:

Criterio

$$A = \text{Max} \left[\left\lfloor \frac{\text{DimensionLAD}}{L_p} \right\rfloor * \left\lfloor \frac{\text{DimensionAAD}}{A_p} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{\text{DimensionLAD}}{A_p} \right\rfloor * \left\lfloor \frac{\text{DimensionAAD}}{L_p} \right\rfloor \right]$$

Donde

DimensionLAD: Dimensión del área desperdiciada a lo Ancho

DimensionAAD: Dimensión del área desperdiciada a lo Largo

Lp: Dimensión de la pieza desperdiciada a lo Largo

Ap: Dimensión de la pieza desperdiciada a lo Ancho

Si,

A == Opción 1

No se rotarán las piezas, es decir la colocación de las mismas será (Ancho, Largo)

Si,

A == Opción 2

Se rotarán las piezas perpendicularmente, es decir la colocación de las mismas será (Largo, Ancho)

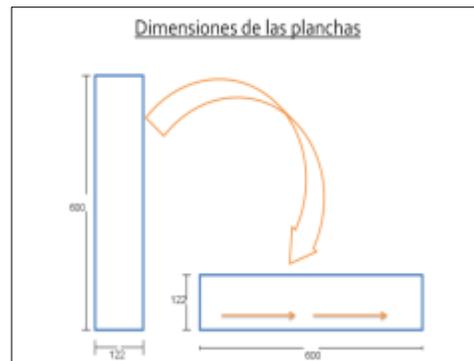


Figura 7 Rotación de las piezas

También cabe decir que la selección del área estará en función de su tamaño es decir mientras mayor sea el área mas posibilidades hay de seleccionarla. Este algoritmo se realizara hasta ocupar todas las áreas posibles de utilizar.

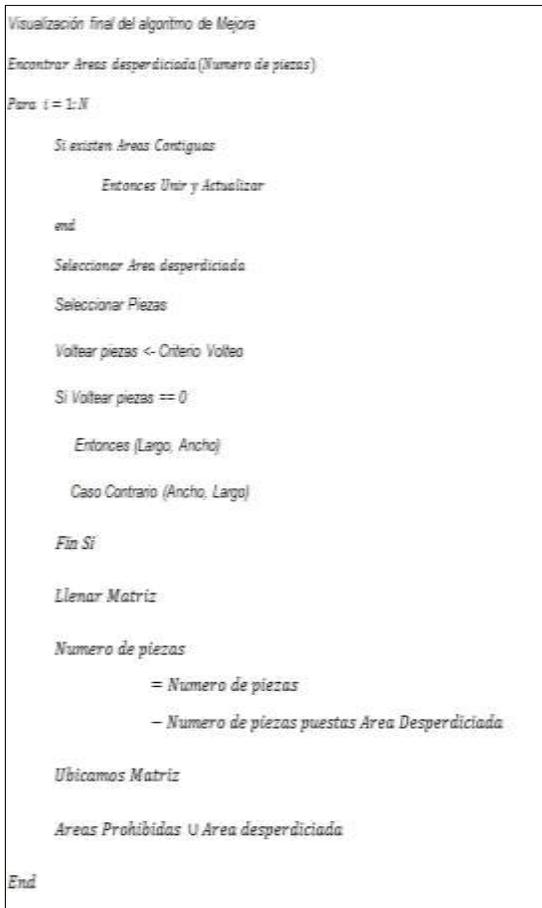


Figura 8 Algoritmo de Mejora

Donde será un parámetro, recordando que mientras mayor sea el parámetro mayor será los cambios realizados, por ende mayor será la mejora, pero también hay que decir que este parámetro esta acotado inferiormente por el 0 y superiormente por el el Numerototaldeareasdesperdiciadas, considerando inclusive que existirán áreas desperdiciadas inservibles, ya que algunas de sus dimensiones o ambas pueden ser, menor que la menor dimensión de entre todas las piezas a colocar, en ancho o largo respectivamente, siendo esta área efectivamente una área desperdiciada pero que no se le podrá dar ningún tipo de uso. Considerando esto la cota superior puede verse reducido por todas las áreas desperdiciadas pero inservibles. Quedando expresado de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 &0 < N \\
 &< \text{Numerototaldeareasdesperdiciadas} \\
 &- \text{Numerototaldeareasinservibles}
 \end{aligned}$$

4. Resultados

Como resultados obtenemos que para nuestro problema se utilizaran 28 planchas, con una media de desperdicio de 7% en cada plancha, El resultado del trabajo realmente efectuado nos da 35 planchas utilizadas a una media de desperdicio de 25%

Tabla 2 Resultados

	Numero Planchas Utilizadas	Desperdicio
Real	35	25,00%
Algoritmo de Mejora	28	7,14%

También como referencia para nuestro problema hemos calculado el GAP, el cual es la diferencia de nuestra solución con alguna cota o relajación al problema, la cual es 26

$$\text{Gap Absoluto: } 28 - 26 = 2$$

$$\text{Gap Relativo: } \frac{28-26}{26} = 7,69 \%$$

Y por ultimo el ahorro final neto obtenido, considerando que cada plancha tiene un costo de \$ 521, luego de considerar la reutilización del material sobrante, del 25% sobrante se puede utilizar en promedio el 40% en otras obras, es de aproximadamente \$2000

Con lo que se demuestra que el aplicar estas técnicas de optimización para procesos de corte representa un ahorro real para las industrias.

5. Conclusiones Y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Empleando técnicas heurísticas se ha resuelto el problema de corte bidimensional rectangular basado en dos fases, la primera da como resultado la utilización de 37 planchas siendo esta respuesta un input para la segunda fase en donde a través de un algoritmo de mejora se consigue disminuir el número de planchas a utilizar a 28.

La cota inferior para el problema resulto ser 26 por lo tanto el GAP absoluto será 2 planchas y el relativo 7.69%, este valor de GAP demuestra que es una solución muy cercana al optimo. Por lo tanto se puede concluir la eficiencia de la heurística tiene un nivel alto.

En caso de implementarse la metodología propuesta los costos de adquisición de material requerido para la obra se reducirían en \$2000. Esto sin duda alguna se transforma en ahorro para la empresa "Metal SA."

5.2 Recomendaciones

Utilizar el algoritmo de mejora o algún software de optimización de corte para futuras obras en los cuales necesiten la planificación de cortes rectangulares, ya que como quedo demostrado el utilizar estas técnicas heurísticas de aproximación, hacen mas eficiente la labor, es decir con menos material se realiza la misma obra, lo que reduce los costos de adquisición por obra.

Reutilizar el desperdicio aun utilizable, es decir pedazos de las láminas de metal con formas de la cual todavía sacar algún tipo de provecho, en otras obras que se estén realizando en paralelo, para reducir los costos de adquisición en aquella otra obra, incurriendo en una reducción global de costos de adquisición.

Reciclar el desperdicio neto de las planchas de metal, es decir los pedazos de metal que no se les puede dar uso en ningún tipo de obra, para así tener un completo ciclo de utilización del metal utilizado, obteniendo beneficio económico extra para la empresa y contribuyendo con la conservación del medio ambiente.

Continuar con esta línea de investigación, mejorando las deficiencias del algoritmo de mejora, y procediendo con una implementación de alguna metaheurística para de esta manera mejorar aun más las soluciones obtenidas, a un promedio ideal de desperdicio por plancha entre un 2% a un 6%.

Se puede expandir el algoritmo de mejora para problemas C&P tridimensionales, en problemas optimización de carga, entre otros, los cuales se podrían aplicar para la optimización de usos de espacios en un camión de reparto, o en el

llenado de container TEU o FEU en el transporte marítimo, entre otros.

8. Referencias

[1]Carolina Salto (2009). Metaheurísticas híbridas paralelas para problemas industriales de corte, empaquetado y otros relacionados. Universidad nacional de San Luis. 51-62

[2]Algoritmo FFD-CUT-2Drg(First Fit Decreasing-Cutting-2D rotation guillotine)

[3]Alicia Cirila, R. C. (2005.). Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N – reinas. Universidad de San Marcos.

[4]Beasley., J. E. (2004.). "A population heuristic for constrained two-dimensional non guillotine cutting". European Journal of Operational Research.Vol. 156., pp. 601-627.

[5]Christofides, N., & Witlock, A. (1977). An algorithm for two-dimensional cutting problems Vol 25. Operational Research , 30-44.

[6]Gilmore, P., & Gomory, R. (1967). The theory and computation of knapsack functions Vol 15. Operations Research , 1045-1074.

[7]J. F. Oliveira, J. S. (1990). "An improved version of Wang's algorithm for two - dimensional Cutting Problems". . EJOR 44., 256-266.