MODELO MATEMÁTICO HÍBRIDO HEURÍSTICO-COMBINATORIO PARA CARGA BALANCEADA DE CONTENEDORES EN LA DISTRIBUCIÓN DE MERCANCÍAS.

Azael Rajadel Valdés* y Manuel Cortés Cortés**
*Tribunal Provincial Cienfuegos.
**Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".

ABSTRACT
This paper proposes a heuristic-combinatorial mathematical model that can be applied to the problems associated with the loading of containers or trucks in the distribution of goods in a production system. In addition to maximising the interior space occupied, special interest is given to the load balance of the goods. Heuristics are used for the selection and positioning of items inside the container with a wall-oriented construction approach. Also, combinatorial techniques are used to obtain the most efficient solutions within the analysed neighbourhood, taking only the most promising ones, avoiding an exhaustive search. A computer program with a recursive algorithm that implements the proposed model is presented.
KEYWORDS: Mathematical modelling, heuristics, load balancing, wall construction approach, container loading.

MSC: 90G08

RESUMEN
El presente trabajo propone un modelo matemático heurístico-combinatorio que se pueden aplicar a los problemas asociados a la carga de contenedores o camiones en la distribución de mercancías en un sistema productivo. Además de maximizar el espacio interior ocupado, se presta especial interés en el balance de carga de la mercancía. Se utilizan heurísticas para la selección y el posicionamiento de los artículos dentro del contenedor con un enfoque de construcción orientado a muros. También, se utilizan técnicas combinatorias para la obtención de soluciones más eficientes dentro de la vecindad analizada, tomando solamente las más prometedoras, evitando que la búsqueda sea exhaustiva. Se presenta un programa informático dotado de un algoritmo recursivo que implementa el modelo propuesto.
PALABRAS CLAVES: Modelación Matemática, heurística, balance de carga, enfoque de construcción de muros, carga de contenedores.

1. INTRODUCCIÓN:

El Problema de Carga de Contenedores, llamado también problema del cubicaje, consiste en colocar cajas rectangulares dentro de un contenedor rectangular de dimensiones conocidas, de modo que se busque maximizar el espacio o volumen del contenedor. [2,8,9].

Busca aprovechar al máximo el espacio físico de los camiones o contenedores, y minimizar el costo por unidad movilizada y el costo logístico de su traslado, teniendo en cuenta que todo tipo de transporte tiene una capacidad de carga limitada, tanto en dimensiones como en peso, lo que significa que la solución del cubicaje no debe exceder el valor máximo permitido nominal de la capacidad del vehículo y respetar las normas vigentes de pesos y dimensiones, buscando a la vez que la mercancía no se dañe.

Encontrar una solución al problema de cubicaje resulta complejo sí a esto se le agrega la gran variedad de formas y tamaños de las mercancías, sobre todo en procesos de consolidación donde el diseño de empaque y embalaje resultan clave.

Son varios los enfoques para enfrentar este problema. En el presente artículo utilizaremos el enfoque orientado a muros. Un muro o pared es una capa vertical de artículos que conforman el llenado del contenedor.

Si bien es cierto que existe una amplia gama de algoritmos y enfoques, muchas veces no se hace énfasis en el balance de la carga, lo que hace que en no pocas ocasiones, la solución alcanzada no sea aplicable para diversos medios de transporte, surgiendo la necesidad de enfrentar esta problemática dando un mayor peso a esta restricción.

Con el desarrollo de la informática en este campo de aplicación, ya se cuentan en el mundo con varios programas capaces de alcanzar soluciones automáticas a los problemas reales de cubicaje en las empresas. Nuestro país, víctima de un férreo bloqueo de más de 60 años, se ve limitado en el acceso a toda esta tecnología desarrollada, pues son programas privativos que no podemos obtener, ya sea por sus caros precios o porque las disposiciones del bloqueo no nos permiten la obtención de las licencias necesarias para su explotación.

Como resultado de este trabajo se propone un modelo matemático heurístico-combinatorio, implementado en un programa informático que es capaz de alcanzar, en un breve intervalo de tiempo, soluciones satisfactorias a las situaciones prácticas reales de las empresas encargadas de la logística en nuestro país.

2. DESARROLLO:

Elementos esenciales del modelo implementado

Los principales elementos utilizados para la definición del modelo son:

Variables: Las variables son factores controlables del sistema que se está modelando.

Restricciones: Son aquellas condiciones que deben cumplirse al optimizar la función objetivo. Puede tratarse de ecuaciones o inecuaciones algebraicas.

Función objetivo: Es aquella función que se optimiza, maximizando su resultado.

Estrategia de llenado del contenedor: Es aquella que se utiliza para intentar la mayor ocupación posible del espacio interior dedicado a la carga.

Heurística de selección del artículo y posicionamiento: Es el criterio de selección del artículo a colocar y la posición que se le asigna dentro del espacio interior de carga.

A continuación, procedemos a la definición de cada uno de los elementos.

Definición de variables

Tenemos un conjunto de n elementos rectangulares tridimensionales que llamaremos artículos y denotaremos por C_i, y el elemento i tiene un frente l_i, un fondo w_i y una altura h_i, i = 1, 2, …, n. Además, tiene un peso asociado p_i, un valor binario de carga apilable a_i que indica si pueden colocarse otros artículos sobre este. El valor m_i corresponde al material de embalaje, r_i es un valor binario que indica si el artículo puede ser rotado y el valor g_i si puede ser girado. Los artículos serán considerados como tuplas de datos de la forma $C_i = (l_i, w_i, h_i, p_i, r_i, g_i, a_i, m_i)$ donde i va desde 1 hasta n, siendo n la cantidad de artículos de ese tipo a ubicar. Adicionalmente se asociará una variable x_i que indicará si el artículo C_i se ha colocado.

Hay un número ilimitado de contenedores cúbicos idénticos donde se ubicarán los artículos, con frente L, fondo W altura H y el peso máximo total permitido de la carga T. Existe otro grupo de variables auxiliares y funciones que se utilizarán como parte de la comprobación de las restricciones del problema y que definiremos en los siguientes apartados.

Restricciones consideradas

Para la particularización del problema de carga se tuvieron en cuenta las siguientes restricciones:

Restricciones relacionadas con el camión

Límite de carga: El límite de carga del camión será conocido, por lo tanto, la suma del peso de los contenedores ubicados dentro del camión no podrá superar este límite de carga.

Límite de espacio: El límite de espacio del camión será conocido, por lo tanto, la suma del volumen de los contenedores ubicados dentro del camión no podrá superar este límite de espacio.

Restricciones relacionadas con los artículos

Orientación de los artículos: Los artículos se podrán orientar según la rotación de cualquiera de sus aristas, manteniendo cada uno de sus ejes paralelos a los del camión.

Carga apilable de los artículos: La carga apilable de los artículos vendrá determinada por cada tipo, ya sea por su material o por sus dimensiones.

No podrá apilarse un artículo de mayores dimensiones sobre uno menor.

Restricciones relacionadas con el proceso de carga

Todos los artículos deben de ser cargados dentro del camión: Toda la demanda de artículos debe ser transportada dentro de los camiones.

La carga debe estar debidamente balanceada para evitar accidentes.

Los trabajos de [1,3,4] son los que incluyen más consideraciones, estos estudios resuelven el CLP (Container Loading Problem), buscando minimizar el espacio desperdiciado en el contenedor.

Definición de las restricciones

Restricción espacial: Sea E_R el espacio residual donde se colocará el artículo C_i. El mismo será considerado como tupla de datos de la forma $E_R = (l_R, w_R, h_R)$

1. Deberá cumplirse que:

$$\begin{aligned} l(E_R) &\geq l(C_i) \\ w(E_R) &\geq w(C_i) \\ h(E_R) &\geq h(C_i) \end{aligned} \tag{1}$$

Las funciones l, w, h devuelven el valor de las componentes frente, fondo y altura respectivamente. La interpretación de estas restricciones es que las dimensiones del artículo no pueden sobrepasar el espacio destinado para colocarlo.

2. **Restricción de peso:** Sean P la función que devuelve el peso del artículo C_i y T el peso máximo permitido de la carga en el contenedor. Deberá cumplirse que:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i * P(C_i) \leq T \tag{2}$$

La interpretación de esta restricción es que el peso total de la carga colocada en el contenedor tiene que ser menor que el peso máximo establecido.

3. **Restricción de apilamiento:** Sea A una función binaria que determina si sobre el artículo puede colocarse un nuevo grupo de artículos. Deberá cumplirse que:

$$A(C_i) = \mathrm{a}_i = 1 \tag{3}$$

La interpretación de estas restricciones es que sobre el artículo puede colocarse un nivel superior de apilamiento si la función binaria tiene un valor unitario.

4. **Restricción de embalaje:** Sea M la función que devuelve un valor entero positivo asociado a la dureza del material de embalaje y B la superficie sobre la cual se desea colocar el artículo. Debe cumplirse que:

$$M(B) \geq M(C_i) \tag{4}$$

La interpretación de esta restricción es que la consistencia del material de la base donde se colocará del artículo tiene que ser mayor o igual al del artículo en sí.

5. **Restricción de manipulación de la carga:** Sea R una función binaria que determina si el artículo puede ser rotado (manteniendo un eje vertical) para su ubicación. Sea G una función binaria que determina si el artículo puede ser girado (manteniendo un eje horizontal) para su ubicación. Deberá cumplirse que:

$$R(C_i) = \mathrm{r}_i = 1 \tag{5}$$
$$G(C_i) = \mathrm{g}_i = 1$$

La interpretación de estas restricciones es que el artículo podrá rotarse y/o girarse en busca de una mejor ubicación si las funciones binarias tienen un valor unitario.

6. **Restricción de balance de carga:** Sean E_h y E_v los ejes vertical y horizontal del plano del contenedor paralelo al suelo tomando el punto medio de las dimensiones del contenedor como muestra la Figura 1.

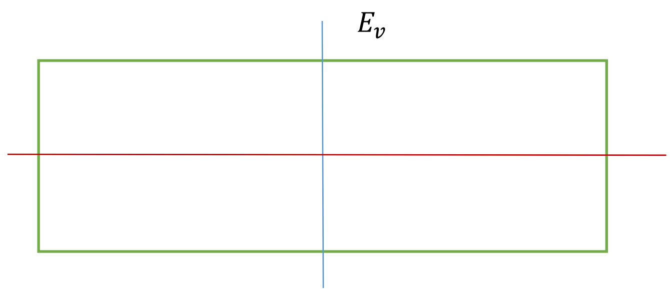

Figura 1 Contenedores y artículos en el sistema de coordenadas cartesiano

Cada eje divide al contenedor en dos espacios que llamaremos H_1 y H_2 , V_1 y V_2 respectivamente. Debe cumplirse que:

$$1-\propto \leq \frac{\sum_{i=1}^{n} MC(C_i, E_h, H_1)}{\sum_{i=1}^{n} MC(C_i, E_h, H_2)} \leq 1+\propto$$
$$1-\propto \leq \frac{\sum_{i=1}^{n} MC(C_i, E_v, V_1)}{\sum_{i=1}^{n} MC(C_i, E_v, V_2)} \leq 1+\propto, \tag{6}$$

donde $MC(c_i, E_h, H_1)$ es la función de momento de carga, calculada como la distancia desde el centro de masa de la porción (o totalidad) del artículo contenida en el plano H_i al eje E_h por el peso proporcional contenido del artículo. De manera equivalente se define para el eje vertical.

La interpretación de esta restricción es que la distribución de la carga dentro del contenedor deberá estar balanceada una vez se concluya el proceso de ubicación. El valor unitario es cuando la carga está idealmente balanceada. El valor de $\propto$ se utiliza para definir una tolerancia de desbalance. De acuerdo al investigador español Rafael Pina Barrios, director de la empresa española Dimensia, especializada en logística y almacenes, [5] Un valor de $\propto \leq 0{,}2$ es considerado como muy bueno, mientras que $\propto \leq 0{,}4$ es considerado aceptable.

Definición de la función objetivo.

Una vez definidas las variables que formarán parte del modelo y las restricciones asociadas al problema, toca el turno a la formalización de la función objetivo de nuestro problema. Formal y matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera:

$$Max\ \sum_{i=1}^{n} x_i * V(C_i), \tag{7}$$

donde $V(C_i) = l(C_i) * w(C_i) * h(C_i)$ corresponde al volumen del artículo C_i y x_i es la variable booleana que indica si el artículo se coloca, o no, en el contenedor.

En resumen, esta definición de variables, restricciones y función objetivo ya fue utilizada con buenos resultados según [6].

Esta función objetivo, aplicada a cada uno de los muros sufre una pequeña modificación, quedando como sigue.

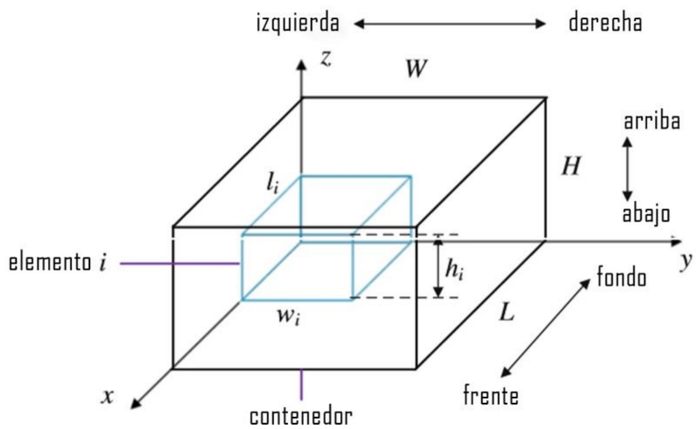

Figura 2. Un artículo en el caso de una rotación de seis direcciones

$$Max\ \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i * V(C_i)}{V_{Mi}}, \tag{8}$$

donde V_{Mi} es el volumen del muro i. La interpretación de la modificación es que se toma el muro que mayor densidad de ocupación tenga.

Estrategia de llenado del contenedor

Varias son las estrategias desarrolladas para el llenado de un contenedor existentes en la literatura. En este modelo se empleará una basada en la construcción de muros. Otros autores han utilizado un enfoque de este tipo con buenos resultados, como [7] y otros. Esta estrategia permite subdividir el problema en intentar aprovechar al máximo franjas dentro del contenedor.

Algunas especificaciones sobre la colocación de los artículos.

Se cuenta con un conjunto de artículos y de contenedores idénticos. Suponemos que cada artículo se puede empaquetar en un contenedor vacío en al menos una variante de orientación. El objetivo es empaquetar ortogonalmente todos los artículos en el mínimo número de contenedores sin superponerse. Estas condiciones significan que:

1. ningún elemento puede superar las superficies límite del contenedor;
2. cada artículo es paralelo a las superficies límite del contenedor;
3. ningún par de artículos empacados se superpone.

En el sistema de coordenadas cartesianas, el Punto O (0, 0, 0) es la esquina inferior izquierda trasera de un contenedor. En este documento, asumimos que el frente, el fondo y la altura del contenedor están orientados con los ejes x, y y z. La figura 1 ilustra un contenedor y un artículo i en el sistema de coordenadas cartesianas, i = 1, 2, …, n.

La rotación de los elementos

La rotación de elementos es un factor operativo importante tanto en la investigación como en el mundo real. Se puede demostrar que existen, como máximo, seis tipos de rotación diferentes para cada artículo empacado en un contenedor. La suposición de una rotación bidireccional también es común en el mundo real. Los estudios

ilustran que los métodos que abordan la rotación en dos sentidos se pueden extender fácilmente al problema en el que se permite la rotación en seis direcciones.
Denotamos $l_i^{'}$, $w_i^{'}$ y $h_i^{'}$ como el frente, el fondo y la altura del elemento i después de rotarlo, i = 1, 2, …, n. Las relaciones entre los tamaños y los tipos de rotación de los elementos se muestran a continuación.
Caso 0: No se realiza ninguna rotación, es decir, $l_i^{'} = l_i$, $w_i^{'} = w_i$ y $h_i^{'} = h_i$
Caso 1: El frente se reemplaza por el fondo del artículo y viceversa; la altura permanece fija, es decir, $l_i^{'} = w_i$, $w_i^{'} = l_i$ y $h_i^{'} = h_i$
Caso 2: La altura se reemplaza por el fondo del artículo y viceversa; el frente permanece fijo, es decir, $h_i^{'} = w_i$, $w_i^{'} = h_i$ y $l_i^{'} = l_i$
Caso 3: El frente se reemplaza por el alto, el fondo se reemplaza por el frente y el alto se reemplaza por el fondo del artículo, es decir, $l_i^{'} = h_i$, $w_i^{'} = l_i$ y $h_i^{'} = w_i$
Caso 4: La altura se reemplaza por el frente del artículo y viceversa, el fondo permanece fijo, es decir, $h_i^{'} = l_i$, $l_i^{'} = h_i$ y $w_i^{'} = w_i$
Caso 5: El frente se reemplaza por el fondo, el fondo se reemplaza por la altura y la altura se reemplaza por el frente del artículo, es decir, $l_i^{'} = w_i$, $w_i^{'} = h$ y $h_i^{'} = l_i$

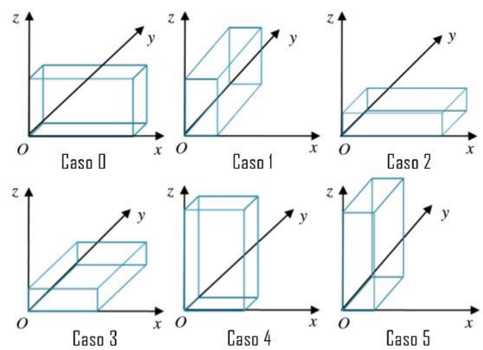

Figura 3 Un artículo en el caso de una rotación de seis direcciones
La figura 3 muestra las rotaciones de seis direcciones de un elemento. En los problemas en los que se permita la rotación en dos sentidos, sólo se considerarán los Casos 0 y 1.

Heurística de selección del artículo y posicionamiento
¿Cómo se seleccionarán las piezas para colocar en el primer nivel? ¿Cómo se hará para los niveles sucesivos?
En este trabajo se conformó una estrategia consistente en llenar el primer nivel de cada muro de manera exploratoria, aprovechando la ventaja que ofrece este método de solución. Además, se intercala una estrategia de selección y posicionamiento heurística para los niveles superiores, reduciendo así el tiempo computacional, pues no se exploran la totalidad de las soluciones.
La heurística consiste en seleccionar cada vez el artículo de mayor área en planta, en cualquiera de las posibles posiciones que no sobrepase las dimensiones del artículo colocado en nivel inferior. Este artículo se colocará en el extremo superior izquierdo del artículo base, lo que permitirá colocar más sobre él en el sentido del fondo, siempre que sea posible y una vez que no puedan colocarse más en ese sentido, pues se procederá a colocarse en el sentido del frente, colocando tantas filas como sea posible.
La idea intuitiva de esta heurística nos dice que se colocarán en los niveles superiores aquellos artículos que más se asemejen al que está en el nivel inferior y una vez que se agoten se podrán colocar tantos de dimensiones menores como sea posible.
Llenado de un solo contenedor
El algoritmo de construcción utilizado, cuenta con los siguientes pasos:
1. Se genera la lista PP de posibles posiciones de los artículos.

$$C_{pi} = (l_i^{'}, w_i^{'}, h_i^{'})$$

2. Se construyen los muros combinando estrategias exploratorias y heurísticas de la siguiente manera.
2.1. Se coloca el primer artículo tomando todas las posibilidades de la lista PP, en el extremo izquierdo trasero del espacio disponible. Se verifica que se cumplan cada una de las restricciones del modelo. Se

actualizan las variables L_c, W_c, H_c, T_c adicionando las dimensiones y peso del artículo colocado. Se resta 1 a la cantidad del artículo. Se actualiza la lista PP si es necesario.

2.2. Para cada caso se rellena los niveles superiores. Se verifica que se cumplan cada una de las restricciones del modelo. Se actualizan las variables H_c, T_c adicionando las dimensiones y peso del artículo colocado. Se resta 1 a la cantidad del artículo. Se actualiza la lista PP si es necesario. El proceso se detiene cuando se alcanza la mayor altura posible.

2.3. Para cada caso generado se coloca el siguiente artículo en el sentido del frente del contenedor, teniendo en cuenta cada una de las posibilidades dentro de la lista PP. Se verifica que se cumplan cada una de las restricciones del modelo. Se actualizan las variables L_c, W_c, H_c, T_c adicionando las dimensiones y peso del artículo colocado. Se resta 1 a la cantidad del artículo. Se actualiza la lista PP si es necesario.

2.4. Se repiten los pasos 2.2 y 2.3 mientras las restricciones del problema lo permitan.

2.5. Para todas las soluciones obtenidas se calcula el valor de la función objetivo seleccionando la de mayor valor y desechando las restantes. Se actualizan las variables L_c, W_c, H_c, T_c con los de la solución obtenida. Igualmente, las cantidades de los artículos.

2.6. Se procede al balance de la carga.

2.7. Mientras exista espacio para un nuevo muro se repiten los pasos del punto 2.

3. Mientras queden elementos en la lista PP y quepan en un nuevo contenedor, se selecciona un nuevo contenedor y se regresa al punto 1.

De este algoritmo constructivo se deben destacar varios aspectos. En primer lugar, se puede observar que en los puntos 2.1 y 2.3 del algoritmo se utilizan técnicas combinatorias para la exploración de las distintas soluciones, pues plantea la colocación de todos los posibles artículos, lo cual generará un árbol de soluciones. Por otro lado, para evitar la búsqueda exhaustiva de todas ellas, lo cual como es conocido representa un problema debido al gasto excesivo de recursos críticos (tiempo de procesamiento, memoria, espacio en disco), en los puntos 2.2 y 2.5 se utilizan estrategias heurísticas tanto para la selección de los artículos (2.2) como para la selección de la solución que mayor valor de la función objetivo ofrece (2.5), obteniéndose el máximo volumen ocupado por los artículos, lo que converge a la mejor solución

$$: \ Max \sum_{i=1}^{n} x_i * V(C_i)$$

donde j =1,2,..n con n la cantidad de soluciones encontradas.

Esta combinación de estrategias, conforman un híbrido, lo cual representa la fortaleza del algoritmo, aprovechando las ventajas de los métodos exploratorios y eliminando las deficiencias al no tener que hacer una búsqueda exhaustiva, reduciendo la cantidad de posibilidades mediante la utilización de heurísticas, como se aprecia en la comparación de los resultados contra la aplicación CargoWiz, programa propietario en internet, página 11.

El programa informático

Para automatizar el modelo propuesto se ha desarrollado un programa informático que hemos denominado DiContainer, que es capaz de obtener en un tiempo breve una solución satisfactoria a problemas prácticos que hoy enfrentan nuestras empresas en la logística.

Fig. 4 El programa DiContainer

Para la utilización de este programa se crea un proyecto que representa el problema que se quiere resolver. Cuenta con una base de contenedores de dimensiones preestablecidas que le permite al usuario seleccionar el contenedor donde desea colocar la mercancía o si lo prefiere introducir las medidas de manera personalizada.
Ofrece una plantilla Excel donde el usuario puede llenar el listado de artículos y sus características para la posterior importación hacia el programa.
Una vez introducida esta información se procede a seleccionar el (los) sentido(s) de orientación de los muros (frente y/o fondo) a utilizar.
Si bien la estrategia de llenado es la misma, la orientación del muro puede ser en sentido del frente o del fondo y por lo tanto la solución alcanzada difiere, lo que permite al utilizador quedarse con la que mejores resultados ofrezca.
Una vez que concluye el proceso de ubicación se obtienen una serie de resultados que se clasifican en dos tipos.

1. Tablas de salida que ofrecen un resumen de indicadores de la efectividad de la solución alcanzada (cantidad de contenedores, volumen total ocupado, superficie en planta utilizada, índice de ocupación, artículos no colocados)
2. Tablas y vistas de la ubicación de cada uno de los artículos dentro del contenedor asignado.

Comparación del método propuesto y el método tradicional utilizado.
Como problema real se aplicó el modelo en la empresa de Frutas selectas, para el caso de la carga en contenedores de la papa. Obteniendo una comparativa entre el método tradicional empírico utilizado hasta el momento contra los resultados del modelo, lo que avalan su mejora.
En las imágenes siguientes se muestra una comparativa visual del acomodo de la carga dentro del contenedor por ambos métodos.

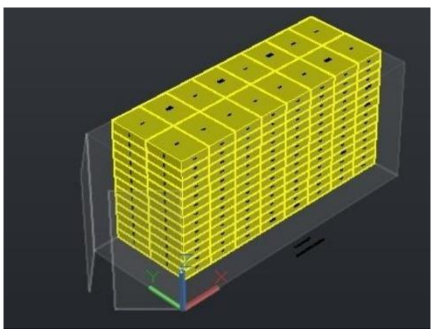

Figura 4 Forma Empírica

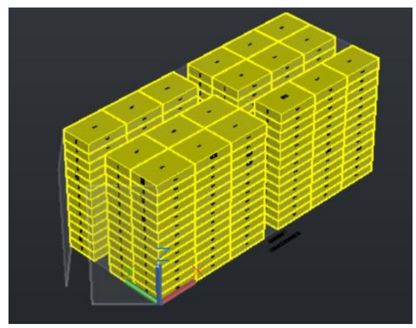

Figura 4b. Modelo matemático

Como se puede apreciar el modelo muestra mejor densidad de ocupación al ser capaz de colocar mayor de artículos, lo que se demuestra al tener mejores valores de ocupación en área y volumen.
Bajo estas mismas condiciones se ha introducido la información en el programa CargoWiz, una aplicación de pago que ofrece la empresa SoftTruck y que en su versión de prueba ofrece los siguientes resultados.

	Cantidad de artículos (und)	Superficie en planta (m^2)	Volumen ocupado (m^3)	Densidad de Ocupación (%)
Forma Empírica	208	121,68	24,336	0,67
Modelo matemático	234	136,89	27,378	0,75

Tabla 1. Comparación de resultados Forma Empírica vs Modelo matemático

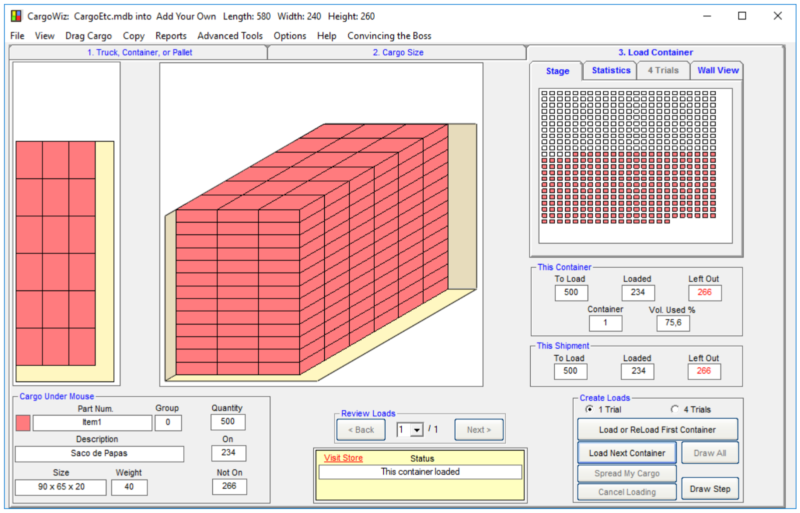

Figura 6. Resultados del programa CargoWiz para el caso de prueba

Como puede observarse, este programa informático logra ubicar, para este caso particular, la misma cantidad de artículos que el modelo matemático presentado (234 sacos), lo que demuestra la posibilidad de utilización de esta solución. Otro aspecto a tener en cuenta es que el mosaico resultante no tiene en cuenta el balance de carga lo que es una ventaja en el caso de nuestro modelo.

3. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se aplica el Modelo Matemático Híbrido Heurístico-Combinatorio para Carga Balanceada de Contenedores para la ubicación y transportación de piezas por contenedores, un trabajo de mucha importancia en la transportación de mercancías en los momentos actuales.

Las variables del modelo son las piezas a transportar en los contenedores y los atributos de las mismas son: largo, ancho, altura y peso. Entre otras restricciones se encuentran, la ubicación o superposición de las piezas en el contenedor y que representan en sí varias restricciones en cuanto al tamaño, la forma de colocarlas debajo, encima…. Entre otras. El embalaje está contemplado en cuanto a la forma de colocar en frente, fondo o de forma manual.

La función objetivo maximiza el volumen a transportar o lo que significa la minimización del espacio vacío en el contenedor.

El programa informático es capaz de implementar el modelo y dar solución a problemas reales en un breve espacio de tiempo, lo cual es fundamental para los ambientes empresariales.

RECEIVED: JULY,2023.
REVISED: APRIL, 2024.

REFERENCES

[1] BORTFELDT, A., and GEHRING, H. (2001): A hybrid genetic algorithm for the container loading problem. **European Journal of Operational Research**, 131, 143-161.

[2] CANDIA VILLAR, A., AGUILAR, D., and GONZÁLEZ, I. (2003): Experiencias con algoritmos de optimización para problemas de container**. A pesquisa Operacional e os Recursos Renóváueis, (XXXVSBPO), (1776-1778): http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2003/pdf/arq0204.pdf**

[3] CESCHIA, S., SCHAERF, A. (2013): Local search for a multi-drop multi-container loading problem. **J. Heuristics** 19, 275–294. https://doi.org/10.1007/s10732-011-9162-6

[4] ELEY, M. (2002): Solving container loading problems by block arrangement. **European Journal of Operational Research,** 141, 393-409

[5] PINA, R. (2004): La realidad del almacenaje. **Logística** 2000. ISBN 978-84-609-1216-3.

[6] RAJADEL, A., CORTÉS, M. E., CORTÉS, M., and LEÓN, J. L. (2022): Propuesta de modelo heurístico matemático para Carga Balanceada de Contenedores en la distribución de mercancías. **Revista Universidad y Sociedad,** 14, 438-444.
[7] THAPATSUWAN, P., PONGCHAROEN, P., HICKS, C. and THAPATSUWAN, W. (2011): Development of a Stochastic Optimisation Tool for Solving the Multiple Container Packing Problem. *International* **Journal of Production Economics**,140, 794-802
[8] VEGA-MEJÍA C. A. and GARCÍA-CÁCERES R. G. and CABALLERO-VILLALOBOS J. P. (2012): Hacia la optimización integral del problema de carga de contenedores. (Ponencia) **Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativo, Río de** Janeiro, Brasil. http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0180.pdf
[9] WAI-YIP, K. (1997): **Container loading problem by a multi-stage heuristics approach**. The University of Hong Kong