

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Informática

# **ALGORITMO HEURISTICO PARA RESOLVER EL CONTAINER PRE MARSHALLING PROBLEM**

**BRUNO FELIPE MARTINEZ BARRIA**

Profesor Guía: **Guillermo Cabrera**

Profesor Co Referente: **Ricardo Soto**

Carrera: **Ingeniería Civil en Informática**

Enero, 2019

# Índice

<b>Índice</b> .....	<b>i</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>ii</b>
<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>iii</b>
<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>iv</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Descripción del Problema</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Estado del Arte</b> .....	<b>7</b>
<b>4. Heurística Propuesta</b> .....	<b>12</b>
4.1. Inicialización de Matrices.....	12
4.2 Pseudocódigo Algoritmo Heurístico.....	13
4.3. Aplicación de Restricciones.....	13
4.4 Encontrar Máximo Mal Ubicado.....	14
4.5 Seleccionar Columna Objetivo.....	15
4.6 Seleccionar Columna Drop To.....	17
4.6.1 Un movimientoBad Good.....	18
4.6.2 Varios Movimientos Bad Good.....	19
4.6.3 No Hay Movimientos Bad Good.....	19
4.7 Movimientos de Reubicación.....	23
<b>5. Resultados Obtenidos</b> .....	<b>24</b>
<b>6. Conclusión</b> .....	<b>27</b>
<b>7. Referencias</b> .....	<b>28</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>29</b>
A: Glosario de Términos.....	29
B: Especificación de Resultados Por Instancia.....	30

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Ejemplo de Bahía Ordenada.....	6
Figura 2.1 Bahía de contenedores no factible para el CPMP.....	8
Figura 2.2 Bahía de contenedores factible para el CPMP.....	8
Figura 2.3 Ejemplo de movimiento de contenedor.....	9
Figura 4.1 Representación de Bahía en Matriz Bidimensional.....	12
Figura 4.2 Pseudocodigo Algoritmo CPMP.....	13
Figura 4.3 Aplicación de Restricciones en Bahías.....	14
Figura 4.4 Contenedor Máximo Mal Ubicado en Bahías.....	15
Figura 4.5 Conteo de Movimientos de Reubicación.....	15
Figura 4.6 Conteo de Contenedores Bien Ubicados.....	16
Figura 4.7 Calculo de Promedio Por Columnas.....	17
Figura 4.8 Clasificación Inicial de Movimientos.....	18
Figura 4.9 Disposición con Un Movimiento de Tipo Bad Good.....	18
Figura 4.10 Disposición Con Muchos Movimiento de Tipo Bad Good.....	19
Figura 4.11 Disposición Sin Movimiento de Tipo Bad Good.....	20
Figura 4.12 Ejemplo de Apilamiento Ascendente.....	20
Figura 4.13 Clasificación de Movimientos Bad Good Positivo o Bad Good Negativo	21
Figura 4.14 Diagrama de Flujo Cuando No Hay Movimientos Bad Good	.....21
Figura 4.15 Aplicación de Movimientos de Reubicación.....	23

## Lista de Tablas

Figura 2.1 Tabla de Notaciones.....	11
Figura 5.1 Tabla de Resultados Obtenidos Para las Carpetas BF .....	24
Figura 5.2 Tabla de Resultados Obtenidos Para las Carpetas CV.....	25
Figura 5.3 Tabla de Resultados Obtenidos Para las Carpetas LC.....	26
Figura B.1 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF1.....	30
Figura B.2 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF2.....	30
Figura B.3 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF3.....	31
Figura B.4 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF4.....	31
Figura B.5 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF5.....	31
Figura B.6 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF6.....	32
Figura B.7 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF7.....	32
Figura B.8 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF8.....	32
Figura B.9 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF9.....	33
Figura B.10 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF10.....	33
Figura B.11 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF11.....	33
Figura B.12 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF12.....	34
Figura B.13 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF13.....	34
Figura B.14 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF14.....	34
Figura B.15 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF15.....	35
Figura B.16 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF16.....	35
Figura B.17 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF17.....	35
Figura B.18 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF18.....	36
Figura B.19 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF19.....	36
Figura B.20 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF20.....	36
Figura B.21 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF21.....	37
Figura B.22 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF22.....	37

Figura B.23	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF23.....	37
Figura B.24	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF24.....	38
Figura B.25	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF25.....	38
Figura B.26	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF26.....	38
Figura B.27	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF27.....	39
Figura B.28	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF28.....	39
Figura B.29	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF29.....	39
Figura B.30	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF30.....	40
Figura B.31	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF31.....	40
Figura B.32	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF32.....	40
Figura B.33	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV1.....	41
Figura B.34	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV2.....	41
Figura B.35	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV3.....	41
Figura B.36	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV4.....	41
Figura B.37	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC2a.....	42
Figura B.38	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC2b.....	42
Figura B.39	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC3a.....	42
Figura B.40	Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC3b.....	42

# 1. Introducción

Los terminales portuarios son de gran relevancia para la economía nacional y regional del país, esto debido al protagonismo adquirido en el comercio exterior los últimos años y porque también estos son fuente directa e indirecta de generación de empleos. Actualmente en Chile dada su ubicación geográfica y el abundante borde costero que nos caracteriza, se movilizan través del sector marítimo más del 90% del comercio exterior.

Viéndolo desde esta perspectiva. Los puertos desempeñan un rol fundamental para el crecimiento económico de Chile y es por esto que es de vital importancia desarrollar tecnologías a fin de adaptarse al crecimiento económico que está afectando a nuestro país y que requiere de una buena gestión para controlar los grandes flujos que se generan al exportar e importar productos al país. En este sentido, el sector portuario tiene algunos desafíos logísticos, esencialmente provocados por las particularidades de cada zona del país, sin embargo, todos ellos son producto del aumento generado en la demanda, la oferta y las políticas relacionadas con regulación, fiscalización y control, entre otros.

Para evitar que el comercio portuario se transforme en el denominado “cuello de botella” al verse sobrepasado por el exceso de demanda y oferta. Es esencial incorporar dentro de la gestión del flujo de cargas, algoritmos inteligentes que sean capaces de reducir los atochamientos y tiempos de espera.

En los terminales portuarios los contenedores generalmente son almacenados por un periodo determinado en depósitos, cuando se requiere trasladar un contenedor fuera del depósito, es posible que el contenedor requerido se encuentre mal ubicado, esto se produce cuando se realizan superposiciones erróneas, es decir, estos no se encuentran en la parte superior de la pila de contenedores para ser fácilmente trasladado por la grúa. La ubicación errónea de estos contenedores, lleva a problemas logísticos dentro de los terminales, los cuales impactan en la eficiencia de los puertos.

Dentro de los puertos se trabaja con un plan de estiba que indica el orden en que se deben cargar los contenedores en sus buques de destino, pero la realidad, es que los contenedores son raramente organizados de acuerdo con este plan de estiba; generando así costos para la empresa portuaria, decepción de sus clientes y aumento del tiempo de espera para el amarrado y aseguramiento de contenedores en los buques que deben zarpar con prisa para continuar con su trabajo.

Para abordar esta problemática, la cual es conocida como CPMP por sus siglas en inglés (Container Pre Marshalling Problem) se comienza desde una bahía desordenada y los contenedores son reubicados dentro de esta asegurando que ningún contenedor estará bloqueado cuando sea necesario trasladarlo de la bahía. Encontrar la secuencia de movimientos necesaria para llegar desde la bahía desordenada a una factible sería una tarea fácil, si es que tenemos permitido realizar un número ilimitado de movimientos, sin embargo tenemos claro que realizar muchos movimientos de reubicación no es práctico, ya que el tiempo disponible de los buques para realizar las cargas y descargas es muy limitado, por lo tanto, nuestro objetivo es minimizar el número de movimientos de reubicación necesarios para llegar a una bahía factible que nos dará como resultado un ordenamiento según las

preferencias de carga de los buques, facilitando así todo el proceso que implica el traslado de contenedores por la grúa en el CPMP.

Cada contenedor posee una preferencia de carga que está asociada a un índice de prioridad, en donde el valor más bajo del índice, índice = 1, significa que posee la prioridad más alta para ser cargado, luego, el índice = 2, tiene la segunda prioridad más alta, y así sucesivamente.

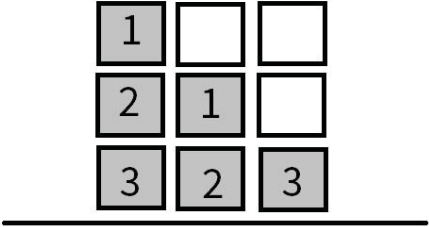


Figura 1.1 Ejemplo de Bahía Ordenada

Entonces siguiendo esta lógica, la bahía se ordenará de tal manera que los contenedores con los valores de índice más alto (prioridad más baja), se establecerán en la parte inferior de las pilas de contenedores y los contenedores con índice más bajo (prioridad más alta), se ubicarán en la parte superior de las pilas de contenedores.

El algoritmo que se utilizará en este proyecto se creó en base a la detección de patrones en la resolución óptima del problema para instancias pequeñas, de donde se pudieron extraer reglas fuertes que serán aplicadas a los distintos casos, luego sobre estas reglas principales se fueron incluyendo algunas excepciones que funcionarán como reglas débiles para los casos particulares que se presenten a medida que se trabaja con casos de prueba de mayor complejidad, posterior a esto sobre el algoritmo se incluyeron algunos casos en donde este responderá de forma aleatoria.

El algoritmo propuesto en este proyecto, varía el largo del vector solución, de manera que en las primeras iteraciones busca una secuencia factible que use la menor cantidad posible de movimientos de reubicación, en caso de que el algoritmo no logre encontrar una solución con límite inferior igual a cero, entonces la longitud del vector solución se incrementa en consecuencia hasta encontrar una solución factible.

Diferentes autores en la literatura han considerado una gran variedad de estrategias para resolver el CPMP, estas estrategias nos servirán en algunos casos como guías para evaluar posibles técnicas a implementar en nuestro algoritmo, así como para desechar las que no hayan tenido grandes resultados en la calidad de sus soluciones. Como se mencionó anteriormente, la calidad de una secuencia de reubicación es indirectamente proporcional al número de movimientos de la secuencia, esto es, a menor cantidad de movimientos de reubicación, mejor será la calidad de nuestra solución.

## 2. Descripción del Problema

Como se mencionó en la introducción, el proceso de carga de contenedores se hace desordenadamente por la prisa que llevan los buques a la hora de descargar, pasando por alto la prioridad de cada contenedor, y en consecuencia éstos son ubicados aleatoriamente por un periodo de tiempo determinado. De esta forma, los contenedores deben ser reubicados para obtener una bahía factible que permita un rápido acceso a los contenedores de mayor prioridad. Para garantizar que el algoritmo que resuelve el problema entregará soluciones factibles es necesario considerar algunas restricciones, las cuales serán detalladas a continuación junto con la notación y los modelos matemáticos a utilizar.

La máquina que se utiliza para las operaciones de apilar y recuperar los contenedores es una grúa de pórtico. Esta máquina opera sólo en la bahía donde la planificación tendrá lugar, por lo tanto, los movimientos de contenedores son posibles dentro de una única bahía. Todos los contenedores de una bahía tienen el mismo tamaño y peso, por lo tanto estos pueden ubicarse en cualquier ranura de la bahía, además la grúa puede estar involucrada solo en un único plan de estiba para un buque de carga al mismo tiempo. Una bahía se compone de un número fijo de niveles  $T$  y  $S$  de pilas, donde, el máximo número de contenedores que se pueden almacenar en la bahía está determinado por  $S \times T$ , además, un contenedor puede ser reubicado solo si está en el tope de la pila.

Sea  $j$  la  $j$ -ésima pila con  $j = 1, 2, \dots, S$ , donde  $S$  es el número de pilas que contiene la bahía. Cada pila podrá acomodar hasta  $T$  contenedores, con  $T$  definido como la cantidad de niveles que contiene una pila. Por lo tanto se cumplirá siempre que el número de ítems  $n \leq T \times S$ . El ordenamiento de los  $n$  elementos dentro de las pilas  $S$  se llamara distribución. En este documento representaremos la distribución  $L$  dentro de la matriz  $T \times S$ .

Cada elemento de la matriz se denota por  $l_{ij}$  donde  $i = 1, 2, \dots, T$  y  $j = 1, 2, \dots, S$ . Entonces  $l_{ij} = 0$  quiere decir que la pila está vacía, mientras que  $l_{ij} > 0$  quiere decir que hay un contenedor en la posición  $(i, j)$ . Está claro que si  $l_{ij} = 0$ , todos los  $l_{kj}$  con  $k > i$  deben ser igual a cero ya que si no estarían ubicados sobre ranuras vacías, además solo podrán ser trasladados los contenedores ubicados en la parte superior de la pila, cabe destacar que solo se pueden ubicar contenedores en la parte superior de las pilas en donde al menos una ranura esté disponible.

Identificamos un movimiento de la pila  $d$  (fuente) a la pila  $r$  (receptor) como el par  $(d; r)$  donde se debe cumplir que  $1 \leq d, r \leq S$  y  $d \neq r$ . Un movimiento  $m_{(d;r)}$  será válido si  $S_{(1;d)} > 0$  (la pila fuente no se encuentra vacía) y  $S_{(T;r)} = 0$  (la pila receptor no está llena). Cuando se aplica un movimiento  $m_{(d;r)}$  a la distribución  $L$ , una nueva distribución  $L'$  es obtenida. Entonces cuando se realiza una secuencia de movimientos se denota como  $\Phi = (m^1, \dots, m^a)$  con  $a \geq 1$ , se aplica a una disposición  $L^0$  tenemos que tener seguridad de que  $m^1$  es válido para la disposición  $L^0$ ,  $m^2$  es válido para la disposición  $L^1$ , y así sucesivamente, en donde  $L^a$  es la disposición resultante de aplicar  $m^a$  a la disposición  $L^{a-1}$ .

El CPMP es entonces el problema de encontrar una secuencia que minimice el número de movimientos de reubicación, de modo que la disposición resultante  $L^a$  es factible para un plan de estiba determinado. Por tanto la secuencia  $\Phi'$  será una solución óptima para el CPMP



si no hay  $\Phi$  tal que  $q' < q$ , donde  $q'$  y  $q$  son el número de movimientos de contenedor requeridos por  $\Phi'$  y  $\Phi$  respectivamente.

Cada contenedor  $C_k$  con  $k = 1, 2, \dots, C$  cumple que  $C < S \times T$ , el número total de contenedores, tiene su respectivo índice de prioridad  $C_k = g$ , donde cabe destacar que dos o más contenedores pueden tener el mismo índice de prioridad, es decir, el valor  $g$  de  $C_k$  no es único. La prioridad de cada contenedor depende de tres factores que serán el tiempo de partida, peso y/o tamaño y categoría, supondremos que la prioridad del contenedor  $C_k$  se da para todo  $k = 1, 2, \dots, C$ , basado en esta prioridad los contenedores podrán ser etiquetados como mal ubicado y bien ubicado.

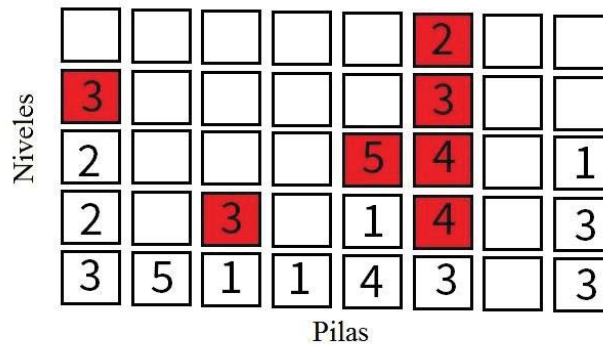


Figura 2.1 Bahía de contenedores no factible para el CPMP.

Un contenedor  $C_k$  ubicado en  $l_{ij}$  se dice que está mal ubicado si es que otro contenedor  $C_{\hat{k}}$  ubicado en  $l_{\hat{i}\hat{j}}$  tal que  $C_{\hat{k}} < C_k$  y  $\hat{j} < j$ , es decir, un contenedor con un índice de prioridad más bajo  $C_{\hat{k}}$  está ubicado bajo un contenedor de índice de prioridad mayor  $C_k$  en la pila.

Una distribución factible de la bahía implica que todos los contenedores estén bien ubicados, esto se puede lograr cuando los contenedores se disponen en orden ascendente (de arriba hacia abajo), en la figura 2.1 se puede ver como los contenedores marcados con rojo están mal ubicados, por otro lado en la figura 2.2 tenemos una bahía de contenedores con una disposición factible.

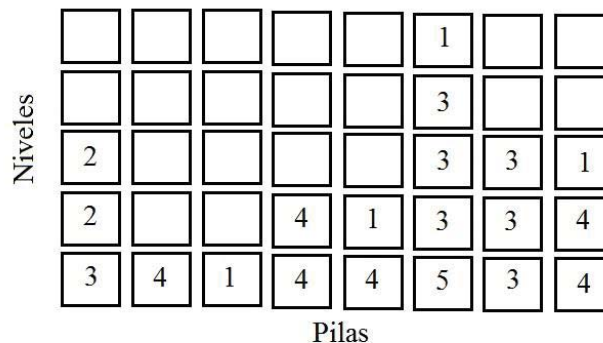


Figura 2.2 Bahía de contenedores factible para el CPMP.

Como es posible llevar a cabo múltiples movimientos de reubicación de cada contenedor, esto dependiendo de la cantidad de pilas que se disponga y teniendo en cuenta que los contenedores pueden ser reubicados, la cantidad de movimientos podría crecer exponencialmente, lo cual es la principal complejidad del problema. Un movimiento  $m_{(d,r)}$  se refiere a un movimiento de contenedor de la pila  $d$  a la pila  $r$  como se puede ver en la figura 2.3.

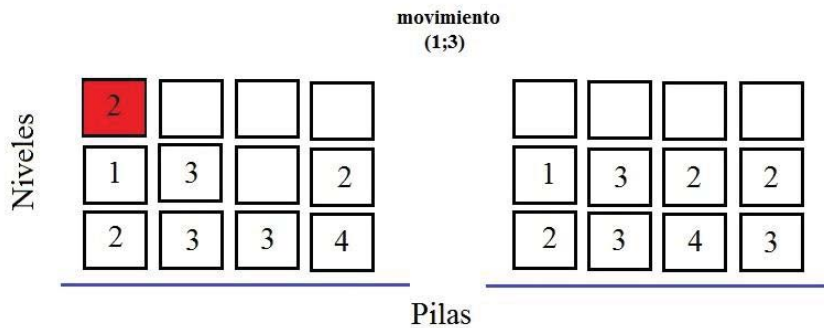


Figura 2.3 Ejemplo de movimiento de contenedor

El conjunto de movimientos secuenciales que se necesita para obtener una solución factible del CPMP se denotara por  $V$ , desafortunadamente encontrar este tipo de soluciones es una tarea muy difícil y, por esta razón definimos una nueva secuencia de movimientos  $\Phi$ , que conduce a una nueva disposición no factible que minimiza el número de movimientos requeridos para obtener una solución factible (es decir una configuración con un límite inferior mínimo  $LB$ ). Por lo tanto podemos decir que, para la distribución  $L^q$  (la distribución obtenida luego de aplicar la secuencia de  $q$  movimientos en la distribución inicial  $L^0$ ), el número mínimo de movimientos del vector  $V$  debe contener  $|V| = q + LB(L^q)$ , es decir, el número de movimientos ya aplicados en el diseño inicial  $L^0$ , más el número mínimo de movimientos necesarios para obtener un diseño factible comenzando desde  $L^q$ , por tanto, nosotros pretendemos encontrar una secuencia  $q$  de movimientos, tal que  $|V| = \Phi = q$  o el equivalente a decir  $LB(L^q) = 0$ . Claramente si tenemos dos soluciones factibles,  $\Phi_1$  y  $\Phi_2$ , donde  $|\Phi_1| < |\Phi_2|$  entonces  $\Phi_1$  será la solución preferida ya que requiere menos movimientos de reubicación para llegar a la solución factible. Asumimos que los elementos en ambos,  $V$  y  $\Phi$ , fueron ingresados de tal manera que  $\Phi = \{m^1, m^2, \dots, m^{a-1}, m^a\}$  donde  $m^1$  se realiza antes de  $m^2$ ,  $m^2$  antes de  $m^3$  y así sucesivamente.

Tabla 2.1 Tabla de Notaciones Para el CPMP

<b>SIGLA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
$L$	Distribución dentro de la matriz.
$S$	Numero de pilas de la bahía.
$T$	Cantidad de niveles de la pila.
$n$	Número de elementos en la distribución.
$l_{ij}$	Elemento dentro de la matriz ubicado en $i = 1, 2, \dots, S$ y $j = 1, 2, \dots, T$ .
$m_{(d;r)}$	Movimiento de contenedor de la pila $d$ (fuente) a la pila $r$ (receptor).
$C_k$	Contenedor C con un índice de prioridad $k=1, 2, \dots, C$ .
$\Phi = \{m^1, m^2, \dots, m^{a-1}, m^a\}$	Conjunto de movimientos secuenciales realizados.

Se describen las notaciones utilizadas en el Container Pre Marshalling Problem en la tabla 2.1 Se definen las siglas utilizadas para hacer referencia a la disposición de una bahía así como sus dimensiones en alto y ancho, los contenedores ubicados en esta y los movimientos que se realizan de una columna hacia otra.

### 3. Estado del Arte

Como ya se mencionó en la sección anterior de este documento, debido al importante papel que juega el transporte marítimo para el comercio de distintos tipos de productos que aumentan la economía de un país, se ha puesto mucha atención a las operaciones que se llevan a cabo al interior de los puertos sobre los contenedores. Es por esto que actualmente se realizan diversos estudios y aplicación de distintas metodologías para optimizar los problemas que surgen en esta área.

El CPMP es una problemática que se clasifica como NP–Hard ya que al aplicar métodos exactos, más conocidos como enfoques de programación matemática, estos suelen fallar en la medida que el problema se vuelve más grande, principalmente debido a que dichos algoritmos requieren de una gran cantidad de memoria que no siempre está disponible. En [1], los autores presentan un algoritmo en donde modelaron el CPMP aplicando múltiples restricciones, por su parte en [8] desarrollaron una heurística que resuelve el problemas en base a una serie de restricciones propuestas. En ambos casos se obtuvieron resultados satisfactorios para pequeños casos de prueba, pero al aumentar el número de variables de decisión el algoritmo fallaba, esto debido a la complejidad matemática que presenta el CPMP.

Por esta razón es que se han propuesto diversas metodologías heurísticas para resolver este tipo de problema, estas buscan encontrar una solución que se aproxime al óptimo, aunque no garantizan la calidad de estas aproximaciones. Un ejemplo de esto fue el algoritmo genético utilizado por Geith [2], que trabajo en un algoritmo genético modificado con una longitud variable de cromosoma que entrego buenos resultados en términos de las soluciones obtenidas, pero que tenía tiempos de respuesta lentos para dar con la solución final. Molins presento una heurística de planificación dominante-dependiente [9], los resultados se compararon con los obtenidos de un autor anterior y teniendo en consideración el tiempo de ejecución del algoritmo, los resultados fueron bastante mejores [10].

También se han utilizado algoritmos híbridos que combinan programación matemática junto con heurísticas, en donde destacan las publicaciones de Maniezzo[3], Caserta [4], Lee y Chao [5]. Junto con estos algoritmos híbridos también se ha aplicado la programación de restricciones (Constraint Programing) en donde destacan Rendl y Prandstetter[7], que propusieron una metodología heurística especializada que incluye la toma de decisiones sobre los movimientos más prometedores.

Finalmente Forster and Bortfled [6,]generan un algoritmo de búsqueda de árbol para el ordenamiento de contenedores con índices de prioridad que se adapta a la estructura básica de un árbol de búsqueda incompleto, es aquí donde se obtuvieron la mayor cantidad de óptimos conocidos que se manejan para el CPMP actualmente.

## **4. Heurística Propuesta**

En esta sección se detalla la solución propuesta para resolver el Container Pre Marshalling Problem. El algoritmo propuesto se basa en un conjunto de reglas de decisión que se complementan con reglas heurísticas que permiten que el algoritmo obtenga un balance entre exploración y explotación. Las reglas se extrajeron de ciertos patrones que fueron detectados mediante la resolución manual de las distintas instancias del problema, a partir de estas observaciones se logró obtener reglas fuertes para la situaciones que eran más frecuentes y reglas débiles para los casos puntuales.

Luego, con el fin de darle una mayor capacidad de exploración a nuestro algoritmo, se llevó a cabo un nuevo análisis del comportamiento de este utilizando distintos casos de prueba. De este análisis se logró detectar movimientos poco eficientes donde era posible aplicar mejoras. Para dichas situaciones, se propusieron algunas reglas heurísticas que permiten al algoritmo explorar de una manera más eficiente.

### **4.1 Inicialización de Matrices**

El primer paso es reconocer la ruta del archivo en donde podemos encontrar la instancia a resolver para el CPMP, este es un archivo de texto plano “.bay” que contiene las dimensiones de la matriz, el número de contenedores de esta y la disposición que tienen los contenedores dentro de la matriz, una vez que el archivo fue abierto se procede a almacenar la configuración de la matriz en un arreglo bidimensional como se indica en la figura 4.1.

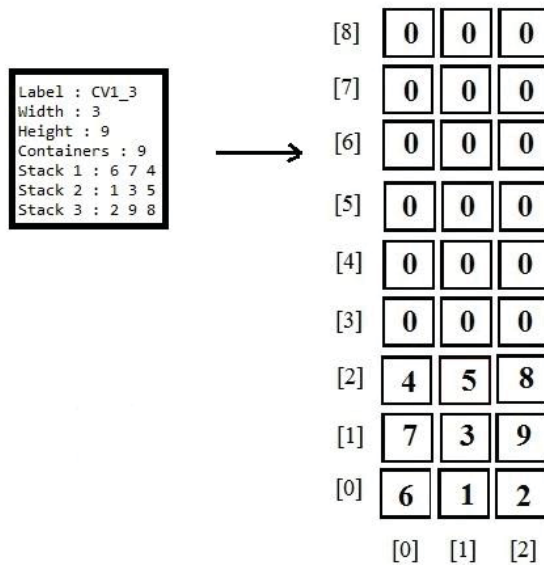


Figura 4.1 Representación de bahía en matriz bidimensional

## 4.2 Pseudocódigo Algoritmo Heurístico

El algoritmo cuenta con dos funciones principales tal como muestra el pseudocódigo de la figura 4.2 en donde primero se procede a cargar el archivo que contiene la instancia a resolver y posteriormente se utilizan las dos funciones del algoritmo que serán descritas con detalle posteriormente, primero se procede a buscar los contenedores que pueden ser restringidos, para esto se considera su índice de prioridad y si es que se encuentran bien ubicados. Los contenedores que cumplan con estas condiciones serán seleccionados como restricción, ya que si se mueven de la posición en la que se encuentran, luego deberán ser reubicados nuevamente y por tener un índice de prioridad alto, implicara llevar a cabo una mayor cantidad de movimientos de reubicación que si se hubiesen dejado en la posición que se encontraban en un principio. Una vez que ya se aplicaron las restricciones sobre la bahía, se procede a realizar los movimientos de reubicación, para esto se buscara el contenedor que tenga el mayor índice de prioridad y que se encuentre mal ubicado, luego este será reubicado en la pila que requiera la menor cantidad de movimientos para almacenar este de manera correcta. Una vez que se realizaron estos pasos se verifica si es que la matriz cumple las condiciones para ser una bahía factible, de ser así se entregara la solución obtenida con sus respectivos movimientos de reubicación, en caso contrario se realizaran nuevamente los pasos mencionados hasta hallar la solución final.

```

INICIO
    Matriz_Inicial = new Matrix(Ruta_Archivo)

    HACER
        Matriz_Inicial = Matriz_Inicial.Aplicar_Restricciones()
        MMU = Matriz_Inicial.Buscar_Maximo_Mal_Ubicado()
        O = Matriz_Inicial.Buscar_Columna_Objetivo()

        MIENTRAS (Matriz_Inicial.Mal_Ubicado_MMU_En_O(MMU,O))
            DT = Buscar_Columna_DropTo()
            Matriz_Inicial = Matriz_Inicial.Mover_Contenedor_Desde_Hacia(O,DT)
        FIN

        MIENTRAS (Matriz_Inicial.No_Esta_En_Tope(MMU))
            DT = Buscar_Columna_DropTo()
            Matriz_Inicial = Matriz_Inicial.Mover_Contenedor_Desde_Hacia(MMU,DT)
        FIN

        Matriz_Inicial = Matriz_Inicial.Mover_Contenedor_Desde_Hacia(MMU,O)
        MIENTRAS (Matriz_Inicial.LowerBound != 0)

FIN

```

Figura 4.2 Pseudocódigo Algoritmo CPMP

### 4.3 Aplicación de Restricciones

Para comenzar con la aplicación de restricciones a la matriz en cuestión se procede a buscar el contenedor con mayor índice de prioridad en toda la matriz, este será multiplicado por un índice que para este problema fue fijado en 0.7 y servirá como cota para determinar si un contenedor puede ser restricción o no. Una vez que se fijó la cota se recorre la matriz pila por pila, desde la base hasta la parte superior, verificando si el contenedor es mayor que la cota, en caso de cumplir esta condición se verifica si está bien ubicado, de ser así será considerado como restricción para esa pila. Cabe destacar que cada pila puede tener solo una restricción, es por esto que en caso de que una pila cuente con más de un contenedor que cumpla las condiciones para ser restricción solo se considerara el que se encuentre en la parte más alta de la pila.

En la figura 4.3 se presentan 4 bahías en donde los contenedores que cumplen las condiciones para ser restricción fueron marcados con color rojo.

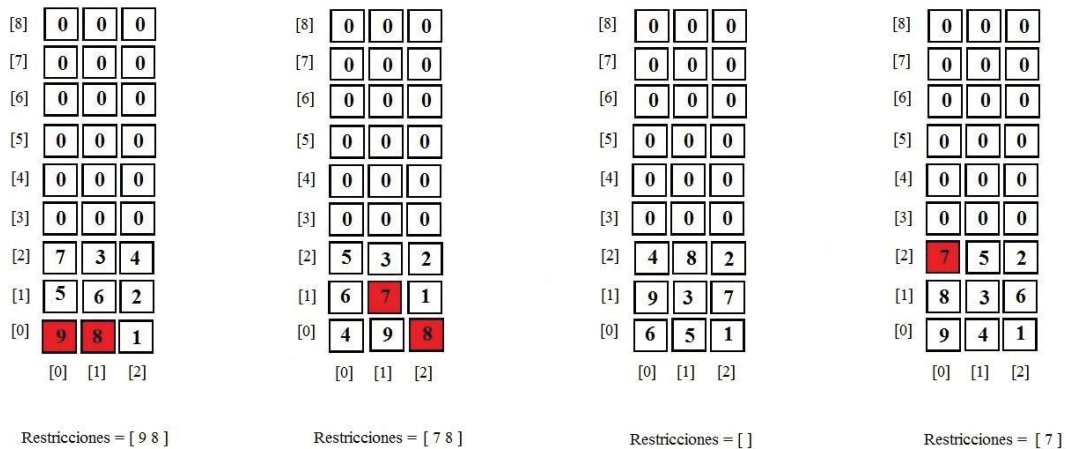


Figura 4.3 Aplicación de Restricciones en Bahías.

## 4.4 Encontrar Máximo Mal Ubicado

Lo primero será ubicar el contenedor con el máximo índice de prioridad que se encuentre mal ubicado en la matriz y la pila que lo almacena, en caso de que hubiese dos contenedores con el mismo valor y ambos sean máximos mal ubicados, se seleccionara el que tenga menor cantidad de contenedores ubicados sobre él, ya que esto implicara una menor cantidad de movimientos para reubicar posteriormente este contenedor.

En el siguiente ejemplo y los próximos se presentan diversos casos de bahías no factibles en donde los contenedores marcados con color verde son aquellos que cumplen las condiciones para ser el máximo contenedor mal ubicado para dicha disposición tal como se muestra en la figura 4.4.



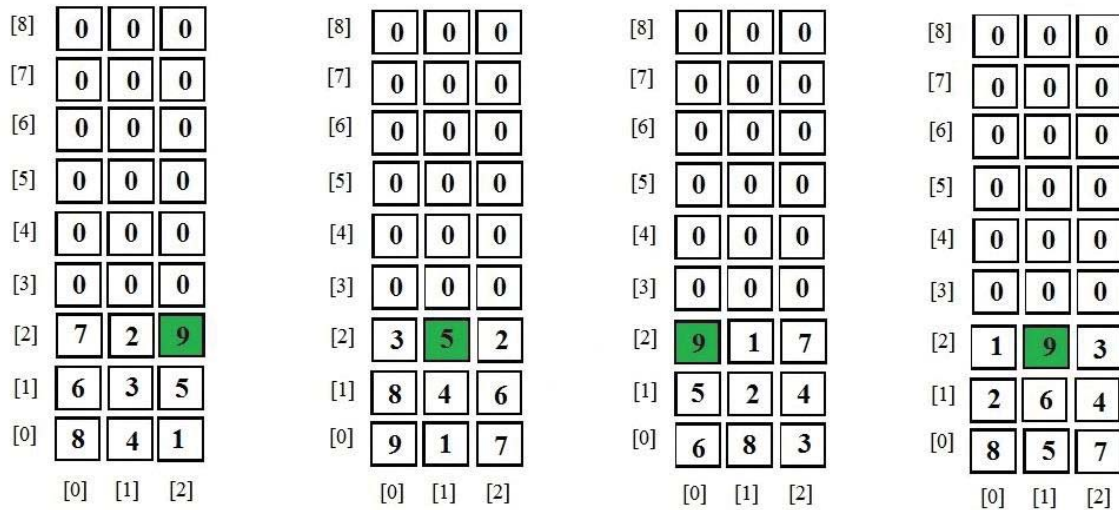


Figura 4.4 Contenedor Máximo Mal Ubicado en Bahía

## 4.5 Seleccionar Columna Objetivo

Una vez que se ubicó la pila con el máximo contenedor mal ubicado comienza la búsqueda de la pila Objetivo, que será la que almacenará a este contenedor, para ser seleccionada como Objetivo se realizara un conteo para todas las pilas en donde la que requiera la menor cantidad de movimientos de reubicación para que el contenedor quede bien ubicado dentro de esta será seleccionada como pila Objetivo. El conteo de movimientos necesarios para acomodar al máximo mal ubicado en una ranura considerara el valor de los contenedores que son restricciones y los que se encuentren ubicados bajo este por valor doble, esto será una penalización ya que estos contenedores serán los mayores bien ubicados y el moverlos de su posición actual implicara incrementar los movimientos de reubicación posteriormente.

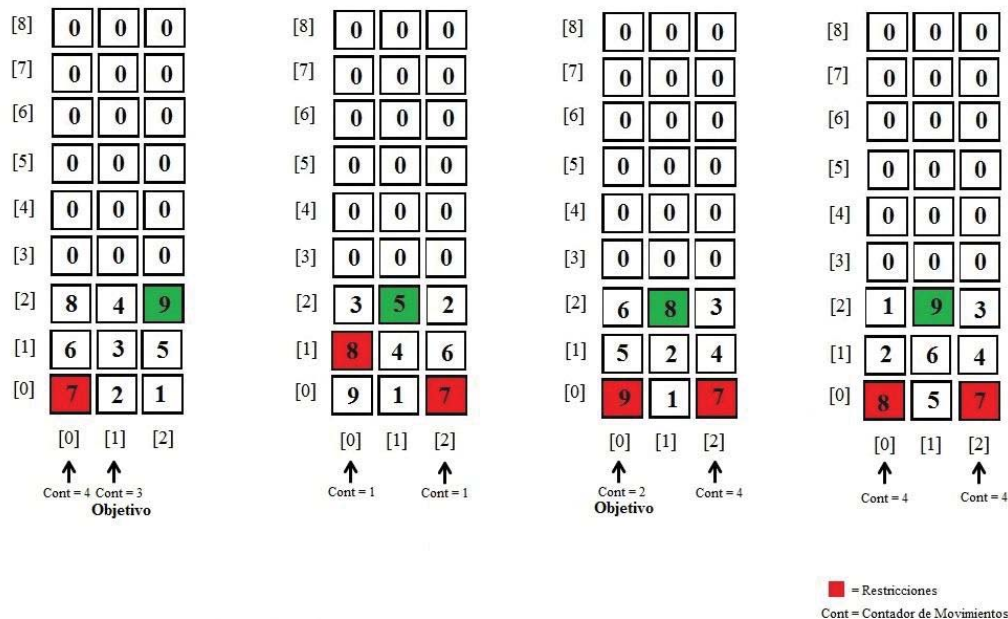


Figura 4.5 Conteo de Movimientos de Reubicación

En caso de que dos pilas requieran la misma cantidad de movimientos para almacenar factiblemente el máximo mal ubicado se realizara un nuevo conteo en la cantidad de contenedores bien ubicados para las pilas candidatas, en donde los contenedores considerados como restricción y los que se encuentran ubicados bajo este tendrán el valor doble para el contador, luego se seleccionara como pila Objetivo la que tenga el menor valor para el contador de bien ubicados en la pila.

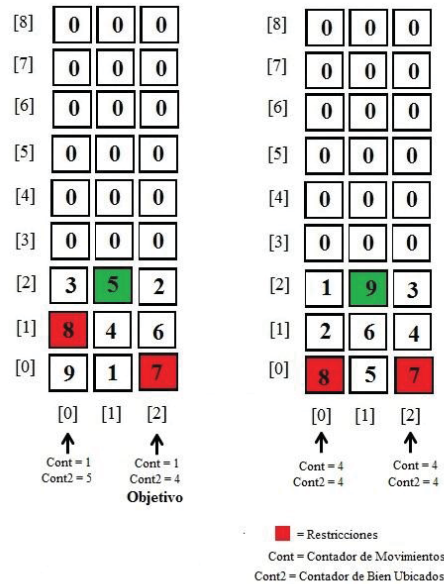


Figura 4.6 Conteo de Contenedores Bien Ubicados

En caso de que ambas pilas además tuviesen el mismo valor para el contador de contenedores bien ubicados, se calculara un promedio de los índices de prioridad para cada una y se seleccionara la que tenga el valor más alto como pila Objetivo.

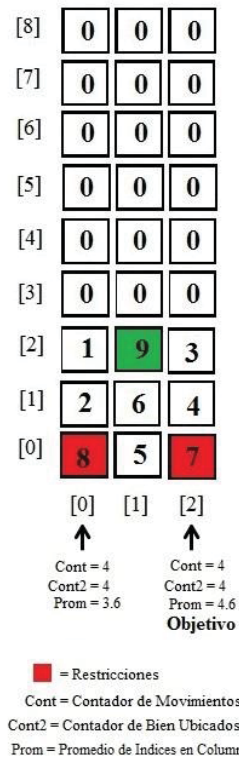


Figura 4.7 Calculo de Promedio Por Columnas.

## 4.6 Seleccionar Columna Drop To

Una vez que ya fue seleccionada la pila que contiene al máximo mal ubicado y la pila Objetivo que almacenará a este, se procede a buscar la pila Drop\_To, esta será la encargada de recibir los contenedores que requieran moverse para posicionar al máximo mal ubicado en la ranura correspondiente de la pila Objetivo, para seleccionar la pila Drop\_To se evaluarán los posibles movimientos a partir de cada contenedor que requiera ser reubicado, en donde en primera instancia se quitarán los contenedores de la pila Objetivo que estén sobre la ranura asignada para el máximo mal ubicado y posteriormente los contenedores que estén sobre el máximo mal ubicado.

El primer paso antes de seleccionar la pila Drop\_To, será clasificar para cada contenedor los tipos de movimientos que genera al ser reubicado el contenedor que se desea mover en las pilas disponibles tal como se muestra en la figura 4.8, no se considerará como disponible las pilas que contienen todas sus ranuras ocupadas por contenedores, ya que no tienen espacio disponible para almacenar más contenedores, tampoco se considerará como disponible la pila que contiene al máximo mal ubicado y la pila Objetivo ya que estas se usarán posteriormente. Los contenedores que serán reubicados se encuentran mal posicionados es por esto que solamente generarán movimientos que serán de tipo Bad Good (el contenedor se encuentra mal ubicado y al reubicarlo este queda ubicado de forma correcta) y Bad Bad (el contenedor está mal ubicado y al reubicarlo queda ubicado de forma incorrecta). Luego una vez que ya se clasificó y cuantificó cada movimiento disponible, se generan tres posibles escenarios, a continuación se describe cada uno de ellos.

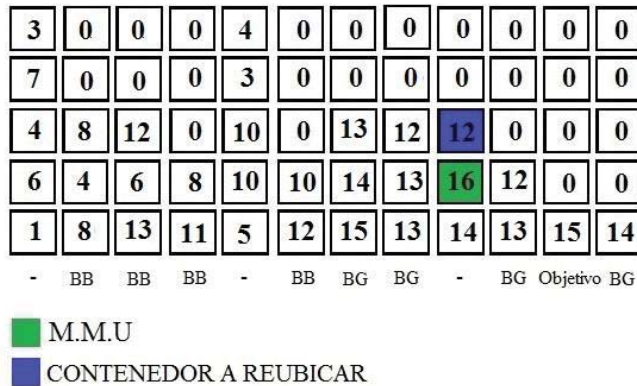


Figura 4.8 Clasificación Inicial de Movimientos.

### 4.6.1 Un Movimiento Bad Good

Una vez que se clasificaron y cuantificaron los movimientos disponibles para el contenedor que requiere se reubicado y solamente se encontró uno de tipo Bad Good (el contenedor se encuentra mal ubicado y al reubicarlo este queda ubicado de forma correcta) y el resto son de tipo Bad Bad (el contenedor está mal ubicado y al reubicarlo queda ubicado de forma incorrecta) como se muestra en la figura 4.9, será seleccionada como Drop\_To la columna que genera un movimiento de tipo Bad Good, ya que es más probable que nos lleve a una bahía factible.

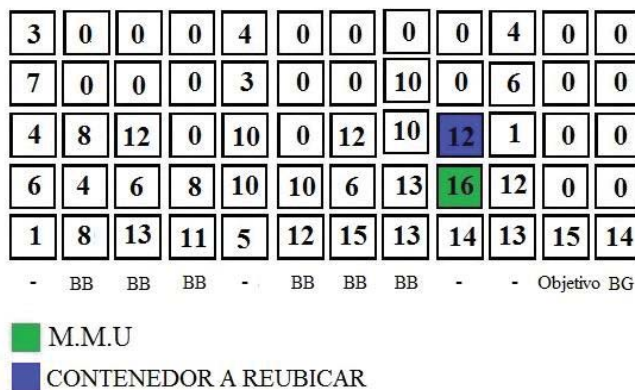


Figura 4.9 Disposición con Un Movimiento de Tipo Bad Good.

### 4.6.2 Varios Movimiento Bad Good

Si al realizar la clasificación y cuantificación de movimientos disponibles para el contenedor que se desea reubicar, verificamos que hay más de un movimiento de tipo Bad Good como se muestra en la figura 4.10 procederemos a utilizar la heurística del algoritmo. Para este caso se usara el enfoque ruleta, en donde a cada movimiento de tipo Bad Good posible se le asigna una probabilidad igual para ser seleccionado, es decir en caso de que sean dos movimientos, cada uno tendrá una probabilidad de un 50% de ser seleccionado como Drop\_To, en caso de ser 3 movimientos cada uno tendrá una probabilidad de un 33,33% de ser seleccionado como Drop\_To y así sucesivamente, una vez que ya se asignó la probabilidad a cada movimiento, se utiliza una función random para seleccionar el Drop\_To.

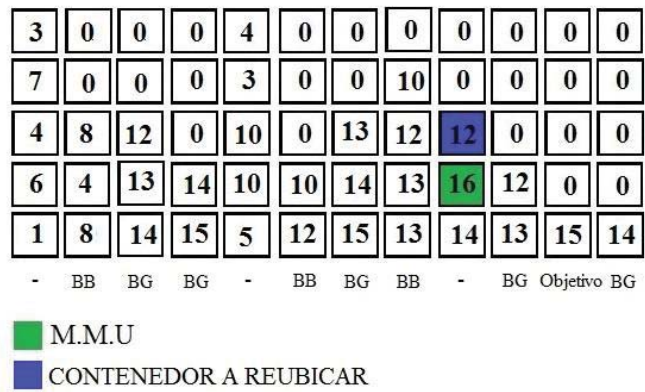


Figura 4.10 Disposición Con Muchos Movimiento de Tipo Bad Good.

### 4.6.3 No Hay Movimiento Bad Good

En último caso si es que al realizar la clasificación y cuantificación de movimientos disponibles para el contenedor que se desea reubicar no se encontraron movimientos de tipo Bad Good como se muestra en la figura 4.11 será necesario llevar a cabo una nueva clasificación para determinar cuál será el Drop\_To, dentro de los posibles movimientos de tipo Bad Bad.

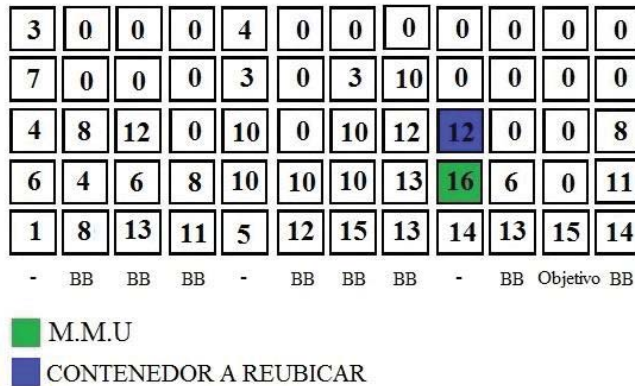


Figura 4.11 Disposición Sin Movimiento de Tipo Bad Good.

Para la nueva clasificación de movimientos se consideran movimientos de tipo Bad Bad positivos y Bad Bad negativos, esto ya que al desarrollar las distintas instancias del CPMP manualmente se logró identificar que si los contenedores que generaban movimientos de tipo Bad Bad se apilaban de forma ascendente, es decir los contenedores con menor índice en la parte inferior y los contenedores con índice mayor en la parte superior, tal como se muestra en la figura 4.12, al ser des apilados posteriormente era más fácil reubicarlos de forma correcta ya que generaban una mayor cantidad de movimientos de tipo Bad Good, es por esto que se clasifican como movimientos de tipo Bad Bad positivo.

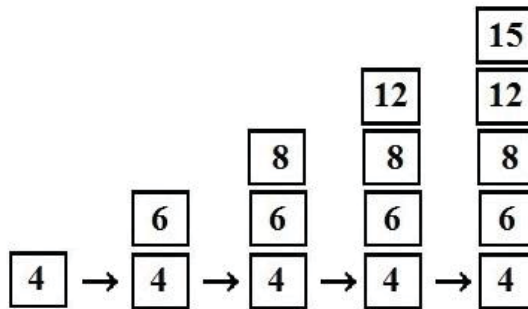


Figura 4.12 Ejemplo de Apilamiento Ascendente.

Se logró identificar también que dentro de los movimientos Bad Good positivos se podía realizar una reclasificación, ya que al ser apilados de forma ascendente como ya se mencionó, si es que el contenedor que será reubicado tenía una diferencia menor al restar su índice de prioridad con el índice de prioridad del contenedor que se encontraba en la parte superior de la pila en donde sería ubicado, sería un mejor candidato para ser seleccionado como Drop\_To, ya que luego al ser des apilado de esta columna y reubicar los contenedores que se encuentran en ella estos se ordenarían prácticamente solos al ser reubicados en otras pilas. A partir de esta cuantificación y clasificación de los movimientos Bad Bad que se puede

ver en la figura 4.13 ,se generan tres posibles escenarios como se muestran en el diagrama de flujo de la figura 4.13 y que serán explicados a continuación.

3	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	3	0	3	10	0	0	0	0
4	8	12	0	10	0	10	12	12	13	0	8
6	4	6	8	10	10	10	13	16	6	0	11
1	8	13	11	5	12	15	13	14	13	15	14

- BB<sup>+</sup>4 BB<sup>+</sup>0 BB<sup>+</sup>4 - BB<sup>+</sup>2 BB<sup>+</sup>9 BB<sup>+</sup>2 - BB<sup>-</sup> Objetivo BB<sup>+</sup>4

■ M.M.U  
■ CONTENEDOR A REUBICAR

Figura 4.13 Clasificación de Movimientos Bad Good Positivo o Bad Good Negativo

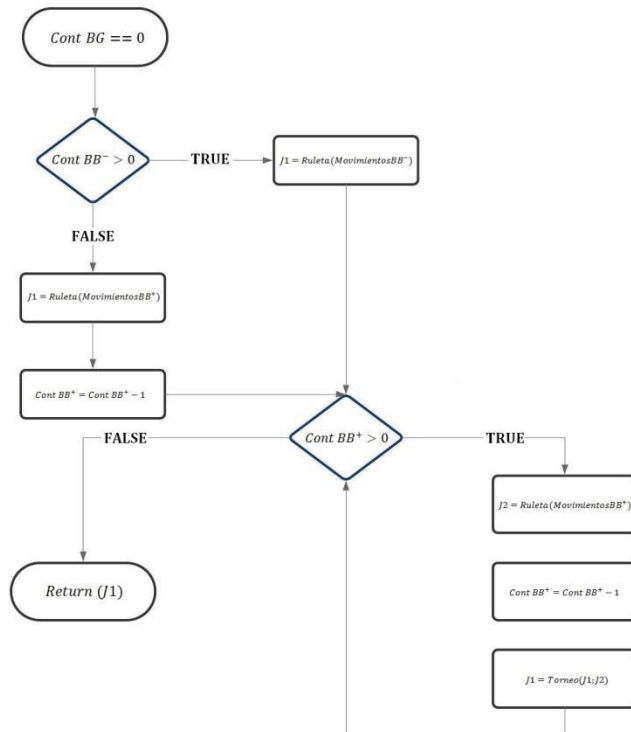


Figura 4.14 Diagrama de Flujo Cuando No Hay Movimientos Bad Good



En caso de encontrar al menos un movimiento de tipo Bad Bad Negativo el algoritmo procederá de la siguiente forma, se utilizara el enfoque ruleta para seleccionar a J1 dentro de los posibles candidatos, como se mencionó anteriormente el enfoque ruleta decide equitativamente en base a la cantidad de movimientos Bad Bad negativo que sea posible llevar a cabo, se le asigna a cada uno una probabilidad igual de ser seleccionado como Drop\_To, luego de esto mediante un función random se decide que columna será seleccionada como J1 para que posteriormente ingrese al torneo.

Si es que no se encontraron movimientos de tipo Bad Bad Negativo significa que al menos debe haber un movimiento de tipo Bad Bad Positivo, en tal caso este será seleccionado como J1 para posteriormente ingresar al torneo, por otra parte si es que hay más de un movimiento de tipo Bad Bad positivo se usara el enfoque ruleta, en donde a cada movimiento de tipo Bad Bad positivo posible se le asigna una probabilidad igual para ser seleccionado, es decir en caso de que sean dos movimientos, cada uno tendrá una probabilidad de un 50% de ser seleccionado como J1, en caso de ser 3 movimientos cada uno tendrá una probabilidad de un 33,33% de ser seleccionado como J1 y así sucesivamente, una vez que ya se asignó la probabilidad a cada movimiento, se utiliza una función random para seleccionar el J1.

Una vez que el J1 ya fue seleccionado se procede a buscar el J2 para posteriormente llevar a cabo el torneo, primero se verifica si es que hay algún posible candidato para ser seleccionado como J2 ya que de no ser así se retorna el J1 como la columna seleccionada para ser Drop\_To, en caso de haber al menos un único candidato para ser seleccionado como J2 este será seleccionado y se llevara a cabo el torneo en donde el ganador será retornado como la columna seleccionada para ser Drop\_To, en caso de haber más de un candidato para ser J2, se seleccionara entre estos mediante el enfoque ruleta que ya fue descrito anteriormente y se llevara a cabo el torneo la cantidad de veces que candidatos hayan para J2, por lo que cada candidato de tipo Bad Good positivo al menos tendrá una oportunidad de concursar en el torneo para ser seleccionado como J1.

Una vez que se seleccionó el J1 y el J2 se podrán presentar 2 posibles escenarios, en donde J1 sea un movimiento de tipo Bad Bad negativo y J2 sea un movimiento de tipo Bad Bad positivo o que J1 sea un movimiento de tipo Bad Bad positivo y J2 también sea un movimiento de tipo Bad Bad positivo. Para el primer caso el seleccionar un movimiento de tipo Bad Bad positivo por sobre un movimiento de tipo Bad Bad negativo para ser Drop\_To nos acerca más a una bahía factible es por esto que este tipo de movimiento tendrá una probabilidad de 90% de ganar el torneo por sobre un 10% de probabilidad del movimiento de tipo Bad Bad negativo. Para el segundo caso el seleccionar un movimiento de tipo Bad Bad positivo con un valor más cercano al índice del contenedor donde será ubicado, nos acerca más a una bahía factible, es por esto que este tipo de movimiento tendrá una probabilidad de un 70% de ser seleccionado como ganador del torneo por sobre un 30% de probabilidad del movimiento tipo Bad Bad positivo con un valor más lejano al índice de prioridad del contenedor que está bajo la ranura de donde será ubicado.

En ambos casos una vez que ya se asignó la prioridad a cada movimiento se utilizara una función random en donde una variable tomara el rango de valores entre el 0% y el 100% y en base a este valor se decidirá si es que el ganador del torneo es el J1 o el J2 retornando el valor de la columna seleccionada. El torneo se llevara a cabo hasta que todos los posibles candidatos a Drop\_To hayan concursado al menos una vez, de esta forma el ganador de todas



las veces que se realice el torneo será retornado para ser seleccionado como la columna Drop\_to.

## 4.7 Movimientos de Reubicación

Finalmente cuando ya se ubicó la pila que contiene el máximo mal ubicado y se seleccionaron las pilas Objetivo y Drop\_To se procede a realizar los movimientos de reubicación, para esto como muestra el ejemplo de la figura 4.15, se reubican los contenedores que se encuentren sobre la pila Objetivo y que sea necesario mover hacia la pila Drop\_To, para dejar disponible la ranura que almacenará al máximo mal ubicado, luego se procede a quitar los contenedores que estén sobre el máximo mal ubicado hacia la pila Drop To y finalmente cuando el contenedor máximo mal ubicado se encuentre en el tope de la pila, se lleva a cabo el movimiento de este hacia la pila Objetivo para que quede ubicado correctamente.

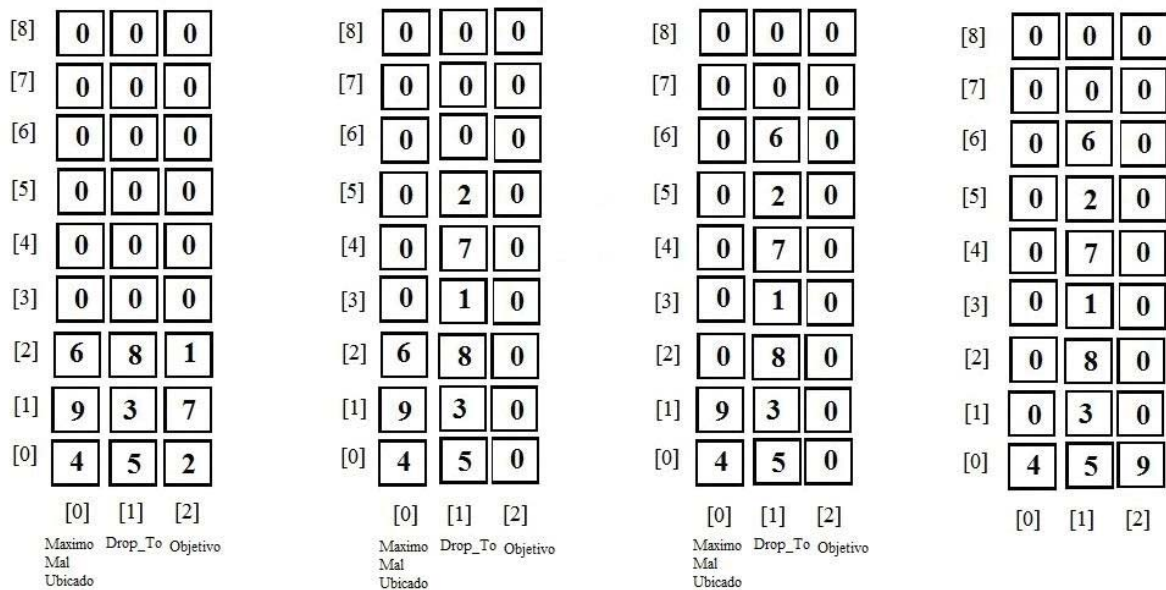


Figura 4.15 Aplicación de Movimientos de Reubicación

## 5. Resultados Obtenidos

A continuación podemos ver los resultados obtenidos por el algoritmo detallado en la sección anterior para las carpetas BF1 hasta la BF32. La primera columna indica el nombre de la carpeta ejecutada. La segunda columna el número de pilas de las instancias (S). La tercera columna el número de niveles de las instancias (T). La cuarta columna indica el número de contenedores que poseen las instancias (C). La quinta columna indica el óptimo conocido en resolver las instancias de la carpeta, es decir el mejor valor obtenido en cuanto a las relocalaciones para resolver la carpeta en promedio (POC). La sexta columna indica el promedio de la mejor cantidad de movimientos obtenida por el algoritmo, ya que este al ser heurístico, cuando resuelve una misma instancia obtiene diferentes valores para esta, es por esto que se decidió que el programa se ejecute 30 veces y de esas, se obtiene la mejor cantidad de movimientos para cada instancia, de la cual finalmente se calcula el promedio (PMCM). La séptima columna indica el promedio del promedio de la cantidad de movimientos, es decir de las 30 ejecuciones que realiza el programa para cada instancia se calcula el promedio, luego de los valores obtenidos para cada instancia que contiene la carpeta se calcula un promedio total (PPCM).

Tabla 5.1 Tabla de Resultados Obtenidos Para las Carpetas BF.

CARPETA	S	T	C	OC	MCM	PPCM
BF1	16	5	48	29,1	29,25	30,80
BF2	16	5	48	36	36,6	38,72
BF3	16	5	48	29,1	30,05	31,97
BF4	16	5	48	36	36,6	39,62
BF5	16	5	64	41,6	51,7	57,14
BF6	16	5	64	49,4	63,8	70,64
BF7	16	5	64	42,9	55,5	61,07
BF8	16	5	64	50,6	65,45	72,26
BF9	16	8	77	51,8	65,7	71,16
BF10	16	8	77	59,8	74,95	82,28
BF11	16	8	77	52,2	66,6	72,13
BF12	16	8	77	60,2	76	84,63
BF13	16	8	103	84,6	116	128,10
BF14	16	8	103	105,6	148,85	169,00
BF15	16	8	103	95,5	118,9	132,53
BF16	16	8	103	109,8	155,05	174,54
BF17	20	5	60	36,3	37,35	39,65
BF18	20	5	60	45	45,6	47,96
BF19	20	5	60	36,5	37,9	40,00
BF20	20	5	60	45	45,8	48,41
BF21	20	5	80	51,7	64,6	70,72
BF22	20	5	80	60,9	75,65	83,00
BF23	20	5	80	51,5	64,15	69,55
BF24	20	5	80	61,3	78,9	86,19
BF25	20	8	96	62,8	77,65	83,21
BF26	20	8	96	74	89,5	98,98
BF27	20	8	96	64	81,2	86,95
BF28	20	8	96	74,9	93,7	101,20
BF29	20	8	128	106,6	132,65	147,15
BF30	20	8	128	128,5	177	194,87
BF31	20	8	128	115,2	141,05	155,17
BF32	20	8	128	132,3	177,6	200,12

En la tabla 5.1 se puede observar que los valores obtenidos por el algoritmo heurístico se acercan al óptimo en la medida que las disposiciones poseen mayor cantidad de ranuras disponibles para llevar a cabo recolocaciones al interior de estas, esto ya que el algoritmo logra aumentar su capacidad de exploración dentro de los movimientos disponibles, por otra parte podemos ver que a medida que las disposiciones mantienen constante el número de pilas y niveles pero aumenta la cantidad de contenedores, los valores obtenidos por nuestro algoritmo se alejan del óptimo conocido.

Además podemos observar que a medida que el problema se va complejizando es decir que el número de pilas y niveles aumentan y en consecuencia su capacidad de almacenar contenedores como en la carpetas BF15, BF16, BF31 y BF32 los resultados se alejan mucho del óptimo, lo que refleja que el algoritmo debe ser estudiado en este tipo de casos para ver cómo responde y mejorar movimientos poco eficientes que se estén llevando a cabo.

La siguiente tabla (tabla 5.2) muestra los resultados obtenidos en las carpetas CV1 hasta la carpeta Cv4 aplicando la metaheurística propuesta.

Tabla 5.2 Tabla de Resultados Obtenidos Para las Carpetas CV.

CARPETA	S	T	C	OC	MCM	PPCM
CV1	3	9	9	10,1	12,5	12,50
CV2	4	16	16	19,1	20,6	22,94
CV3	5	25	25	30,4	31,8	37,02
CV4	6	36	36	44,4	46,3	53,42

A diferencia de las carpetas BF las carpetas CV se disponen de forma vertical en donde podemos ver que la que posee mayor cantidad de pilas tiene 6, es por esto que el algoritmo tiene menor posibilidad de explorar, ya que si para la carpeta que tiene mayor número de pilas consideramos que la pila donde se encuentra el máximo mal ubicado y la seleccionada como Objetivo no están disponibles para llevar a cabo recolocaciones, el algoritmo contaría con 4 ranuras disponibles para llevar movimientos a cabo para la instancia con mayor cantidad de pilas. Esto refleja que para este tipo de casos actúan principalmente las restricciones aplicadas y las reglas fuertes.

Podemos ver que para las 4 carpetas los resultados obtenidos por el algoritmo son bastante cercanos al óptimo conocido, por lo que podríamos deducir que el algoritmo se adapta mejor a este tipo de casos en donde la bahía se dispone de forma vertical a diferencia de la carpeta BF en donde las disposiciones de las bahías son de forma horizontal y a medida que se van complejizando los problemas, los resultados se van alejando del óptimo conocido.

La siguiente tabla (tabla 5.3 muestra los resultados obtenidos en las carpetas LC1a hasta la carpeta LC3b aplicando la metaheurística propuesta.

Tabla 5.3 Tabla de Resultados Obtenidos Para las Carpetas LC.

CARPETA	S	T	C	OC	MCM	PPCM
LC1a	10	5	35	16	20	21,267
LC2a	12	6	50	22,6	25,4	28,0101
LC2b	12	6	50	38,4	52,3	57,9566
LC3a	12	6	54	23,7	28,7	31,0068
LC3b	12	6	54	42,7	55,6	60,9834

Se puede apreciar en la tabla de resultados de la carpeta LC que los valores obtenidos por nuestro algoritmo en las carpetas tipo LCa los resultados se acercaron más al óptimo conocido que los obtenidos en la carpetas tipo LCb. Es por esto que habría que hacer una revisión detallada a que se debe esta situación, ya que la cantidad de pilas, niveles y contenedores permanece igual de una carpeta a otra. Puede ser que el número de contenedores mal ubicados dentro de estas, este influyendo en el aumento de movimientos de recolocación necesarios para obtener una disposición factible.

## 6. Conclusiones

A modo de conclusión, es importante destacar que en todo el mundo se encuentra presente la problemática del ordenamiento de contenedores al interior de las bahías, pero cada uno planteará el problema en base a las necesidades que tenga. Esto ya que cada puerto maneja el flujo de cargas dependiendo de la magnitud que este presente, el cual se verá afectado por la ubicación geográfica y la influencia económica que tenga el puerto en el comercio como exportador o importador de productos. El CPMP es una de las formas de abordar esta problemática y requiere de un largo estudio, ya que como pudimos ver en la medida que las bahías aumentan su capacidad así como el número de contenedores que estas almacenan el problema se vuelve más complejo. Es muy importante que se propongan distintos modelos matemáticos y algoritmos que puedan resolver de formas eficiente esta problemática, ya que en la medida que los resultados vayan mejorando se pueden aplicar estos algoritmos en la vida real y generar beneficios para los puertos que afronten el problema del ordenamiento de cargas mediante el CPMP.

Para el trabajo que se realizó en este informe pudimos ver la importancia que tiene el analizar el problema desde distintos puntos de vista antes de llevar a cabo la codificación, esto requiere resolver a mano las distintas instancias, observar como el algoritmo responde ante ciertas situaciones, comparar los resultados, observar en donde se podrían realizar las mejoras, plantear distintos tipos de soluciones y luego ver de qué forma podrían ser implementadas. Fue esta la forma en que se propuso el algoritmo heurístico, partiendo de la resolución de las instancias más básicas y evaluando los resultados, aplicando mejoras y a medida que estos eran satisfactorios pasábamos a los de mayor complejidad, obteniendo así una base sólida a partir de la cual se podían ir a aplicando distintas mejoras para los casos puntuales donde se realizaban movimientos ineficientes.

La importancia que juega la heurística dentro de este algoritmo es de mucha relevancia, ya que al comenzar con este proyecto, el algoritmo respondía de forma determinística y tras realizar el análisis de los movimientos poco eficientes que estaba llevando a cabo el algoritmo pudimos identificar donde era posible aplicar mejoras e incluir la heurística, cabe destacar que los resultados obtenidos posterior a la implementación de la heurística fueron considerablemente mejores, ya que al explorar diferentes caminos en la resolución de una misma instancia pudimos obtener diferentes resultados de los cuales pudimos extraer más información para continuar aplicando mejoras.

Si bien no fue un trabajo sencillo y requirió mucho esfuerzo, es muy gratificante ver los resultados obtenidos, ya que se logró cumplir todos los objetivos planteados al comienzo de este proyecto, que eran lograr resolver todas las instancias para este problema, obtener bajos tiempos de ejecución para las instancias de mayor complejidad y finalmente igualar los óptimos conocidos para las instancias de menor complejidad. Es importante destacar que es posible mejorar los resultados obtenidos mediante este algoritmo, pero se requiere de un largo trabajo para lograr detectar donde es posible aplicar mejoras para las instancias de mayor complejidad.

## 7. Referencias

- [1] Lee, Y., Hsu, N.-Y., 2007. An optimization model for the container premarshalling problem. *Computers & Operations Research* 34 (11), 3295-3313.
- [2] Gheith, M., Eltawil, A. B., Harraz, N. A., 2016. Solving the container premarshalling problem using variable length genetic algorithms. *Engineering Optimization* 48 (4), 687-705.
- [3] Maniezzo, V., Stutzle, T., Voß, S. (Eds.), 2010. *Matheuristics – Hybridizing Metaheuristics and Mathematical Programming*. Vol. 10 of *Annals of Information Systems*.
- [4] Caserta, M., Voß, S., 2009. *Applications of Evolutionary Computing*. Vol. 5484 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, Ch. A Corridor Method-Based Algorithm for the Pre-marshalling Problem, pp. 788-797.
- [5] Lee, Y., Chao, S.-L., 2009. A neighborhood search heuristic for premarshalling export containers. *European Journal of Operational Research* 196 (2), 468-475.
- [6] Bortfeldt, A., Forster, F., 2012. A tree search procedure for the container premarshalling problem. *European Journal of Operational Research* 217 (3), 531-540.
- [7] Rendl, A., Prandtstetter, M., 2013. Constraint models for the container premarshalling problem. In: *Proceedings of the Twelfth International Workshop on Constraint Modelling and Reformulation*. ModRef. Vol. 13. pp. 44-56.
- [8] R. Stahlbock, and S. Voß, 2008. Operations research at container terminals: A literature update, *OR spectrum*, Vol. 30, pp. 1-52.
- [9] M. Molins, M. Salido, F. Barber, 2010. Domain dependent planning heuristics for locating containers in maritime terminals, *IEA/AIE*, 742-751.
- [10] M. Molins, M. Salido, F. Barber, 2012. Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals, *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, pp 978-989.

## **A: Glosario de términos.**

Atochamiento: Ocupación poco eficiente del espacio que impide llevar a cabo movimientos con fluidez.

Bahía: Instancia del CPMP o configuración de contenedores dentro de una matriz.

CPMP: Problema de minimización de recolocaciones de contenedores en un puerto.

Metaheurística: Método para resolver un tipo específico de problema.

Niveles: Numero de filas que posee una instancia.

Pilas: Número de columnas que posee una instancia.

## **B: Especificación Resultados Por Instancia.**

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada instancia con el algoritmo propuesto en este informe. La primera columna indica el nombre de la carpeta que se ejecutó (CARPETA). La segunda columna indica el nombre de la instancia específica de esa carpeta (CASO). La tercera columna indica el valor del Lower Bound que se obtuvo mediante el método propuesto por [6] (LB). La cuarta columna indica el mejor valor obtenido de las 30 veces que se ejecutó la instancia (MCM). La quinta columna indica el promedio obtenido de las 30 veces que se ejecutó la instancia (PCM). La sexta columna indica el tiempo de ejecución en segundos del algoritmo una vez que ya ejecuto 30 veces la instancia (TE).

## Carpetas A. Bortfeldt y F. Forster Usando Algoritmo Heurístico.

Tabla B.1 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF1.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE [seg]
BF1	crmp_16_5_48_10_29_1	37,00	29,00	29,50	0,70
	crmp_16_5_48_10_29_2	33,00	29,00	29,16	0,72
	crmp_16_5_48_10_29_3	37,00	29,00	32,30	0,70
	crmp_16_5_48_10_29_4	38,00	29,00	31,63	0,73
	crmp_16_5_48_10_29_5	38,00	29,00	29,00	0,71
	crmp_16_5_48_10_29_6	44,00	29,00	31,60	0,68
	crmp_16_5_48_10_29_7	38,00	29,00	29,60	0,69
	crmp_16_5_48_10_29_8	38,00	29,00	32,00	0,71
	crmp_16_5_48_10_29_9	35,00	29,00	30,36	0,69
	crmp_16_5_48_10_29_10	32,00	29,00	29,53	0,71
	crmp_16_5_48_10_29_11	40,00	32,00	34,40	0,77
	crmp_16_5_48_10_29_12	40,00	29,00	31,90	0,73
	crmp_16_5_48_10_29_13	35,00	29,00	29,16	0,70
	crmp_16_5_48_10_29_14	41,00	29,00	32,46	0,74
	crmp_16_5_48_10_29_15	47,00	29,00	30,20	0,71
	crmp_16_5_48_10_29_16	39,00	29,00	30,13	0,69
	crmp_16_5_48_10_29_17	38,00	29,00	30,60	0,71
	crmp_16_5_48_10_29_18	37,00	29,00	30,73	0,73
	crmp_16_5_48_10_29_19	38,00	31,00	32,50	0,75
	crmp_16_5_48_10_29_20	35,00	29,00	29,16	0,70
		38,00	29,25	30,80	0,71

Tabla B.2 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF2.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE [seg]
BF2	crmp_16_5_48_10_36_1	47,00	36,00	37,50	0,79
	crmp_16_5_48_10_36_2	44,00	36,00	36,40	0,81
	crmp_16_5_48_10_36_3	56,00	38,00	40,30	0,84
	crmp_16_5_48_10_36_4	43,00	36,00	36,16	0,81
	crmp_16_5_48_10_36_5	43,00	36,00	39,20	0,83
	crmp_16_5_48_10_36_6	47,00	36,00	37,63	0,81
	crmp_16_5_48_10_36_7	45,00	36,00	36,10	0,81
	crmp_16_5_48_10_36_8	50,00	38,00	39,63	0,81
	crmp_16_5_48_10_36_9	47,00	38,00	39,80	0,86
	crmp_16_5_48_10_36_10	49,00	36,00	39,00	0,79
	crmp_16_5_48_10_36_11	50,00	36,00	40,00	0,88
	crmp_16_5_48_10_36_12	46,00	36,00	36,97	0,91
	crmp_16_5_48_10_36_13	43,00	36,00	38,44	0,88
	crmp_16_5_48_10_36_14	50,00	39,00	44,90	0,96
	crmp_16_5_48_10_36_15	46,00	36,00	39,10	0,81
	crmp_16_5_48_10_36_16	47,00	38,00	41,60	0,88
	crmp_16_5_48_10_36_17	44,00	37,00	40,20	0,91
	crmp_16_5_48_10_36_18	44,00	36,00	37,23	0,82
	crmp_16_5_48_10_36_19	49,00	36,00	36,13	0,83
	crmp_16_5_48_10_36_20	47,00	36,00	38,10	0,87
		46,85	36,60	38,72	0,84



Tabla B.3 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF3.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF3	crmp_16_5_48_20_29_1	37,00	30,00	31,20	1,12
	crmp_16_5_48_20_29_2	37,00	31,00	33,83	1,19
	crmp_16_5_48_20_29_3	41,00	29,00	32,63	1,16
	crmp_16_5_48_20_29_4	45,00	31,00	33,90	1,12
	crmp_16_5_48_20_29_5	40,00	29,00	32,13	1,12
	crmp_16_5_48_20_29_6	34,00	29,00	29,13	1,07
	crmp_16_5_48_20_29_7	44,00	30,00	32,66	1,08
	crmp_16_5_48_20_29_8	33,00	29,00	29,06	1,07
	crmp_16_5_48_20_29_9	45,00	29,00	31,97	1,06
	crmp_16_5_48_20_29_10	36,00	29,00	33,03	1,11
	crmp_16_5_48_20_29_11	33,00	29,00	29,00	1,03
	crmp_16_5_48_20_29_12	38,00	29,00	31,46	1,18
	crmp_16_5_48_20_29_13	41,00	29,00	29,73	1,01
	crmp_16_5_48_20_29_14	43,00	37,00	38,50	1,27
	crmp_16_5_48_20_29_15	36,00	29,00	30,86	1,06
	crmp_16_5_48_20_29_16	30,00	29,00	29,17	1,07
	crmp_16_5_48_20_29_17	40,00	31,00	33,86	1,23
	crmp_16_5_48_20_29_18	38,00	29,00	29,06	1,04
	crmp_16_5_48_20_29_19	42,00	34,00	35,86	1,22
	crmp_16_5_48_20_29_20	43,00	29,00	32,30	1,10
		38,80	30,05	31,97	1,11

Tabla B.4 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF4.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF4	crmp_16_5_48_20_36_1	54,00	39,00	43,86	1,30
	crmp_16_5_48_20_36_2	44,00	36,00	37,56	1,25
	crmp_16_5_48_20_36_3	42,00	36,00	41,00	1,31
	crmp_16_5_48_20_36_4	51,00	39,00	43,86	1,31
	crmp_16_5_48_20_36_5	55,00	37,00	38,60	1,20
	crmp_16_5_48_20_36_6	42,00	36,00	39,30	1,31
	crmp_16_5_48_20_36_7	53,00	37,00	40,73	1,21
	crmp_16_5_48_20_36_8	47,00	37,00	42,46	1,33
	crmp_16_5_48_20_36_9	43,00	36,00	36,56	1,22
	crmp_16_5_48_20_36_10	46,00	36,00	39,70	1,28
	crmp_16_5_48_20_36_11	55,00	36,00	38,16	1,20
	crmp_16_5_48_20_36_12	51,00	38,00	42,90	1,32
	crmp_16_5_48_20_36_13	46,00	36,00	40,26	1,30
	crmp_16_5_48_20_36_14	41,00	36,00	36,56	1,21
	crmp_16_5_48_20_36_15	45,00	36,00	38,27	1,23
	crmp_16_5_48_20_36_16	39,00	36,00	38,90	1,26
	crmp_16_5_48_20_36_17	49,00	36,00	38,20	1,19
	crmp_16_5_48_20_36_18	54,00	37,00	40,40	1,35
	crmp_16_5_48_20_36_19	48,00	36,00	39,03	1,21
	crmp_16_5_48_20_36_20	44,00	36,00	36,06	1,25
		47,45	36,60	39,62	1,26

Tabla B.5 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF5.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF5	crmp_16_5_64_13_39_1	58,00	54,00	62,70	1,26
	crmp_16_5_64_13_39_2	49,00	49,00	52,86	1,02
	crmp_16_5_64_13_39_3	54,00	49,00	54,36	1,61
	crmp_16_5_64_13_39_4	49,00	47,00	51,36	1,02
	crmp_16_5_64_13_39_5	52,00	52,00	59,23	1,17
	crmp_16_5_64_13_39_6	52,00	48,00	50,30	1,01
	crmp_16_5_64_13_39_7	60,00	51,00	55,80	1,13
	crmp_16_5_64_13_39_8	50,00	57,00	65,10	1,28
	crmp_16_5_64_13_39_9	47,00	45,00	50,70	1,08
	crmp_16_5_64_13_39_10	49,00	47,00	51,26	1,02
	crmp_16_5_64_13_39_11	51,00	54,00	57,16	1,17
	crmp_16_5_64_13_39_12	48,00	54,00	61,10	1,22
	crmp_16_5_64_13_39_13	56,00	58,00	61,80	1,31
	crmp_16_5_64_13_39_14	48,00	50,00	57,20	1,16
	crmp_16_5_64_13_39_15	48,00	50,00	54,86	1,08
	crmp_16_5_64_13_39_16	47,00	49,00	53,76	1,06
	crmp_16_5_64_13_39_17	50,00	54,00	60,86	1,15
	crmp_16_5_64_13_39_18	63,00	58,00	63,83	1,24
	crmp_16_5_64_13_39_19	49,00	52,00	56,00	1,14
	crmp_16_5_64_13_39_20	44,00	56,00	62,60	1,18
		51,20	51,70	57,14	1,16

Tabla B.6 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF6.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF6	crmp_16_5_64_13_48_1	60,00	63,00	67,00	1,22
	crmp_16_5_64_13_48_2	62,00	66,00	73,30	1,37
	crmp_16_5_64_13_48_3	68,00	68,00	73,10	1,33
	crmp_16_5_64_13_48_4	67,00	67,00	72,76	1,34
	crmp_16_5_64_13_48_5	60,00	66,00	71,80	1,34
	crmp_16_5_64_13_48_6	62,00	65,00	70,50	1,36
	crmp_16_5_64_13_48_7	66,00	66,00	71,43	1,40
	crmp_16_5_64_13_48_8	59,00	60,00	64,10	1,23
	crmp_16_5_64_13_48_9	56,00	60,00	63,30	1,27
	crmp_16_5_64_13_48_10	61,00	58,00	63,20	1,15
	crmp_16_5_64_13_48_11	60,00	58,00	66,00	1,23
	crmp_16_5_64_13_48_12	69,00	66,00	72,53	1,42
	crmp_16_5_64_13_48_13	70,00	64,00	68,73	1,35
	crmp_16_5_64_13_48_14	57,00	63,00	70,53	1,32
	crmp_16_5_64_13_48_15	62,00	68,00	77,10	1,42
	crmp_16_5_64_13_48_16	68,00	72,00	82,40	1,55
	crmp_16_5_64_13_48_17	63,00	65,00	76,10	1,36
	crmp_16_5_64_13_48_18	67,00	65,00	75,20	1,35
	crmp_16_5_64_13_48_19	58,00	60,00	69,50	1,29
	crmp_16_5_64_13_48_20	56,00	56,00	64,20	1,22
		62,55	63,80	70,64	1,33

Tabla B.7 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF7.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF7	crmp_16_5_64_26_39_1	53,00	56,00	66,30	1,84
	crmp_16_5_64_26_39_2	50,00	58,00	64,23	1,96
	crmp_16_5_64_26_39_3	55,00	63,00	71,70	2,15
	crmp_16_5_64_26_39_4	53,00	52,00	54,80	1,07
	crmp_16_5_64_26_39_5	53,00	50,00	56,66	1,76
	crmp_16_5_64_26_39_6	50,00	58,00	65,76	1,99
	crmp_16_5_64_26_39_7	54,00	57,00	62,47	1,94
	crmp_16_5_64_26_39_8	51,00	55,00	60,60	1,78
	crmp_16_5_64_26_39_9	48,00	53,00	58,86	1,81
	crmp_16_5_64_26_39_10	53,00	59,00	62,63	1,89
	crmp_16_5_64_26_39_11	53,00	56,00	61,96	1,94
	crmp_16_5_64_26_39_12	48,00	59,00	62,73	1,87
	crmp_16_5_64_26_39_13	49,00	55,00	62,36	1,81
	crmp_16_5_64_26_39_14	52,00	50,00	55,36	1,70
	crmp_16_5_64_26_39_15	47,00	49,00	53,73	1,53
	crmp_16_5_64_26_39_16	57,00	56,00	60,76	1,76
	crmp_16_5_64_26_39_17	58,00	59,00	63,50	1,95
	crmp_16_5_64_26_39_18	60,00	54,00	58,36	1,72
	crmp_16_5_64_26_39_19	48,00	52,00	56,43	1,75
	crmp_16_5_64_26_39_20	52,00	59,00	62,16	1,86
		52,20	55,50	61,07	1,80

Tabla B.8 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF8.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF8	crmp_16_5_64_26_48_1	67,00	61,00	65,87	1,97
	crmp_16_5_64_26_48_2	61,00	81,00	86,73	2,48
	crmp_16_5_64_26_48_3	67,00	67,00	71,23	2,12
	crmp_16_5_64_26_48_4	55,00	62,00	70,08	2,09
	crmp_16_5_64_26_48_5	54,00	53,00	60,40	1,71
	crmp_16_5_64_26_48_6	62,00	69,00	78,90	2,27
	crmp_16_5_64_26_48_7	60,00	65,00	70,60	2,18
	crmp_16_5_64_26_48_8	62,00	67,00	77,13	2,22
	crmp_16_5_64_26_48_9	71,00	72,00	78,60	2,31
	crmp_16_5_64_26_48_10	68,00	66,00	74,00	2,10
	crmp_16_5_64_26_48_11	58,00	73,00	76,90	3,00
	crmp_16_5_64_26_48_12	67,00	68,00	72,86	2,04
	crmp_16_5_64_26_48_13	67,00	66,00	77,30	2,27
	crmp_16_5_64_26_48_14	61,00	59,00	64,70	1,92
	crmp_16_5_64_26_48_15	63,00	59,00	68,03	1,95
	crmp_16_5_64_26_48_16	61,00	66,00	70,60	2,11
	crmp_16_5_64_26_48_17	61,00	61,00	68,00	2,11
	crmp_16_5_64_26_48_18	58,00	69,00	73,13	2,16
	crmp_16_5_64_26_48_19	69,00	67,00	75,23	2,19
	crmp_16_5_64_26_48_20	57,00	58,00	64,83	1,86
		62,45	65,45	72,26	2,15

Tabla B.9 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF9.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF9	crmp_16_8_77_16_47_1	61,00	63,00	68,33	2,30
	crmp_16_8_77_16_47_2	57,00	62,00	68,50	2,89
	crmp_16_8_77_16_47_3	72,00	66,00	70,70	2,92
	crmp_16_8_77_16_47_4	58,00	61,00	66,53	2,81
	crmp_16_8_77_16_47_5	67,00	67,00	70,63	3,13
	crmp_16_8_77_16_47_6	61,00	73,00	76,93	3,32
	crmp_16_8_77_16_47_7	73,00	79,00	84,80	3,67
	crmp_16_8_77_16_47_8	76,00	70,00	74,96	3,07
	crmp_16_8_77_16_47_9	54,00	61,00	66,97	2,82
	crmp_16_8_77_16_47_10	59,00	65,00	69,53	3,07
	crmp_16_8_77_16_47_11	52,00	62,00	65,70	2,28
	crmp_16_8_77_16_47_12	64,00	64,00	70,86	2,28
	crmp_16_8_77_16_47_13	57,00	58,00	61,36	2,22
	crmp_16_8_77_16_47_14	63,00	62,00	67,26	2,93
	crmp_16_8_77_16_47_15	59,00	66,00	69,26	2,89
	crmp_16_8_77_16_47_16	64,00	66,00	72,80	3,12
	crmp_16_8_77_16_47_17	72,00	68,00	73,13	2,97
	crmp_16_8_77_16_47_18	60,00	62,00	67,73	2,85
	crmp_16_8_77_16_47_19	72,00	73,00	81,30	3,60
	crmp_16_8_77_16_47_20	57,00	66,00	75,96	3,27
		62,90	65,70	71,16	2,92

Tabla B.10 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF10.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF10	crmp_16_8_77_16_58_1	80,00	87,00	92,53	3,94
	crmp_16_8_77_16_58_2	66,00	62,00	69,53	2,82
	crmp_16_8_77_16_58_3	76,00	74,00	81,86	3,10
	crmp_16_8_77_16_58_4	69,00	82,00	89,53	3,89
	crmp_16_8_77_16_58_5	71,00	76,00	84,00	3,43
	crmp_16_8_77_16_58_6	74,00	83,00	88,40	3,93
	crmp_16_8_77_16_58_7	82,00	67,00	73,83	3,07
	crmp_16_8_77_16_58_8	78,00	73,00	78,30	3,00
	crmp_16_8_77_16_58_9	76,00	83,00	95,63	3,93
	crmp_16_8_77_16_58_10	66,00	78,00	86,33	3,49
	crmp_16_8_77_16_58_11	78,00	74,00	80,66	3,22
	crmp_16_8_77_16_58_12	81,00	82,00	93,03	3,80
	crmp_16_8_77_16_58_13	79,00	74,00	80,53	3,35
	crmp_16_8_77_16_58_14	85,00	75,00	83,13	3,30
	crmp_16_8_77_16_58_15	72,00	71,00	78,20	3,24
	crmp_16_8_77_16_58_16	64,00	68,00	77,10	3,19
	crmp_16_8_77_16_58_17	67,00	78,00	82,50	3,41
	crmp_16_8_77_16_58_18	67,00	67,00	73,70	2,91
	crmp_16_8_77_16_58_19	67,00	75,00	79,80	3,21
	crmp_16_8_77_16_58_20	70,00	70,00	77,00	3,20
		73,40	74,95	82,28	3,37

Tabla B.11 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF11.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF11	crmp_16_8_77_31_47_1	71,00	76,00	83,53	6,35
	crmp_16_8_77_31_47_2	55,00	69,00	74,60	5,82
	crmp_16_8_77_31_47_3	63,00	69,00	73,23	5,51
	crmp_16_8_77_31_47_4	70,00	69,00	73,53	5,09
	crmp_16_8_77_31_47_5	61,00	62,00	63,96	4,23
	crmp_16_8_77_31_47_6	65,00	66,00	69,43	4,72
	crmp_16_8_77_31_47_7	61,00	64,00	67,27	4,89
	crmp_16_8_77_31_47_8	70,00	66,00	73,53	5,22
	crmp_16_8_77_31_47_9	63,00	66,00	73,46	5,50
	crmp_16_8_77_31_47_10	60,00	58,00	64,03	4,43
	crmp_16_8_77_31_47_11	62,00	64,00	71,10	5,11
	crmp_16_8_77_31_47_12	61,00	67,00	72,13	5,38
	crmp_16_8_77_31_47_13	60,00	64,00	70,13	4,93
	crmp_16_8_77_31_47_14	65,00	68,00	72,70	5,38
	crmp_16_8_77_31_47_15	64,00	65,00	68,06	4,92
	crmp_16_8_77_31_47_16	72,00	68,00	74,90	5,59
	crmp_16_8_77_31_47_17	61,00	76,00	83,10	6,46
	crmp_16_8_77_31_47_18	54,00	63,00	71,83	5,20
	crmp_16_8_77_31_47_19	61,00	62,00	66,40	5,00
	crmp_16_8_77_31_47_20	54,00	70,00	75,60	5,48
		62,65	66,60	72,13	5,26

Tabla B.12 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF12.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF12	crmp_16_8_77_31_58_1	84,00	77,00	82,60	5,65
	crmp_16_8_77_31_58_2	76,00	69,00	84,13	5,73
	crmp_16_8_77_31_58_3	69,00	74,00	81,86	6,06
	crmp_16_8_77_31_58_4	71,00	81,00	92,00	6,54
	crmp_16_8_77_31_58_5	82,00	72,00	79,93	5,64
	crmp_16_8_77_31_58_6	68,00	74,00	78,43	5,32
	crmp_16_8_77_31_58_7	72,00	72,00	77,13	5,03
	crmp_16_8_77_31_58_8	64,00	73,00	82,73	5,45
	crmp_16_8_77_31_58_9	74,00	77,00	90,03	6,10
	crmp_16_8_77_31_58_10	73,00	68,00	75,20	5,55
	crmp_16_8_77_31_58_11	74,00	78,00	84,66	6,08
	crmp_16_8_77_31_58_12	68,00	67,00	74,43	5,22
	crmp_16_8_77_31_58_13	79,00	80,00	91,86	6,33
	crmp_16_8_77_31_58_14	64,00	72,00	77,93	5,66
	crmp_16_8_77_31_58_15	65,00	80,00	86,30	6,26
	crmp_16_8_77_31_58_16	82,00	89,00	97,66	7,06
	crmp_16_8_77_31_58_17	66,00	75,00	83,26	5,71
	crmp_16_8_77_31_58_18	80,00	79,00	89,16	6,63
	crmp_16_8_77_31_58_19	74,00	76,00	86,76	6,21
	crmp_16_8_77_31_58_20	72,00	87,00	96,60	6,80
		72,85	76,00	84,63	5,95

Tabla B.13 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF13.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF13	crmp_16_8_103_21_62_1	73,00	109,00	124,80	5,00
	crmp_16_8_103_21_62_2	90,00	117,00	125,76	5,15
	crmp_16_8_103_21_62_3	91,00	114,00	125,40	5,16
	crmp_16_8_103_21_62_4	100,00	117,00	127,16	5,05
	crmp_16_8_103_21_62_5	100,00	124,00	135,80	5,20
	crmp_16_8_103_21_62_6	86,00	119,00	127,23	4,77
	crmp_16_8_103_21_62_7	77,00	111,00	122,53	4,66
	crmp_16_8_103_21_62_8	96,00	121,00	138,16	5,36
	crmp_16_8_103_21_62_9	89,00	114,00	132,43	5,12
	crmp_16_8_103_21_62_10	84,00	105,00	112,12	4,37
	crmp_16_8_103_21_62_11	82,00	99,00	108,83	4,17
	crmp_16_8_103_21_62_12	95,00	118,00	134,80	5,18
	crmp_16_8_103_21_62_13	89,00	120,00	134,33	5,29
	crmp_16_8_103_21_62_14	86,00	106,00	113,80	4,43
	crmp_16_8_103_21_62_15	82,00	123,00	133,63	5,36
	crmp_16_8_103_21_62_16	91,00	123,00	134,93	5,09
	crmp_16_8_103_21_62_17	82,00	108,00	120,63	4,87
	crmp_16_8_103_21_62_18	91,00	113,00	129,00	5,26
	crmp_16_8_103_21_62_19	87,00	134,00	145,03	5,25
	crmp_16_8_103_21_62_20	90,00	125,00	135,63	5,06
		88,05	116,00	128,10	4,99

Tabla B.14 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF14.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF14	crmp_16_8_103_21_78_1	102,00	151,00	164,86	6,48
	crmp_16_8_103_21_78_2	96,00	129,00	150,96	6,03
	crmp_16_8_103_21_78_3	105,00	143,00	153,56	5,75
	crmp_16_8_103_21_78_4	98,00	144,00	157,33	6,00
	crmp_16_8_103_21_78_5	105,00	175,00	195,00	7,11
	crmp_16_8_103_21_78_6	99,00	150,00	170,73	6,34
	crmp_16_8_103_21_78_7	96,00	139,00	163,96	5,89
	crmp_16_8_103_21_78_8	112,00	145,00	162,36	6,19
	crmp_16_8_103_21_78_9	110,00	148,00	175,10	6,59
	crmp_16_8_103_21_78_10	101,00	145,00	164,90	6,17
	crmp_16_8_103_21_78_11	91,00	144,00	153,60	5,52
	crmp_16_8_103_21_78_12	96,00	142,00	166,26	6,57
	crmp_16_8_103_21_78_13	116,00	156,00	181,16	6,70
	crmp_16_8_103_21_78_14	103,00	148,00	178,03	6,54
	crmp_16_8_103_21_78_15	101,00	148,00	167,76	6,43
	crmp_16_8_103_21_78_16	111,00	176,00	196,10	7,27
	crmp_16_8_103_21_78_17	95,00	150,00	174,93	6,46
	crmp_16_8_103_21_78_18	99,00	145,00	162,16	6,13
	crmp_16_8_103_21_78_19	97,00	156,00	171,73	6,56
	crmp_16_8_103_21_78_20	94,00	143,00	169,50	6,39
		101,35	148,85	169,00	6,36

Tabla B.15 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF15.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF15	cpmp_16_8_103_42_62_1	85,00	101,00	118,33	8,07
	cpmp_16_8_103_42_62_2	96,00	130,00	139,47	9,79
	cpmp_16_8_103_42_62_3	81,00	111,00	122,00	8,23
	cpmp_16_8_103_42_62_4	93,00	124,00	138,13	9,50
	cpmp_16_8_103_42_62_5	94,00	136,00	151,53	10,46
	cpmp_16_8_103_42_62_6	90,00	122,00	136,03	9,73
	cpmp_16_8_103_42_62_7	80,00	118,00	131,10	9,08
	cpmp_16_8_103_42_62_8	97,00	141,00	152,60	10,27
	cpmp_16_8_103_42_62_9	86,00	116,00	131,30	8,21
	cpmp_16_8_103_42_62_10	89,00	138,00	153,46	9,93
	cpmp_16_8_103_42_62_11	83,00	112,00	128,86	8,39
	cpmp_16_8_103_42_62_12	90,00	111,00	132,80	9,07
	cpmp_16_8_103_42_62_13	81,00	115,00	125,90	8,74
	cpmp_16_8_103_42_62_14	75,00	119,00	131,30	9,58
	cpmp_16_8_103_42_62_15	81,00	109,00	124,23	9,03
	cpmp_16_8_103_42_62_16	78,00	116,00	123,70	8,11
	cpmp_16_8_103_42_62_17	89,00	114,00	125,73	8,66
	cpmp_16_8_103_42_62_18	85,00	109,00	125,23	8,28
	cpmp_16_8_103_42_62_19	87,00	110,00	122,73	8,45
	cpmp_16_8_103_42_62_20	93,00	126,00	136,10	9,51
		86,65	118,90	132,53	9,05

Tabla B.16 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF16.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF16	cpmp_16_8_103_42_78_1	94,00	148,00	164,40	10,72
	cpmp_16_8_103_42_78_2	106,00	160,00	180,23	11,20
	cpmp_16_8_103_42_78_3	103,00	149,00	171,33	11,55
	cpmp_16_8_103_42_78_4	108,00	174,00	192,27	12,50
	cpmp_16_8_103_42_78_5	106,00	178,00	198,37	13,76
	cpmp_16_8_103_42_78_6	106,00	138,00	160,50	10,68
	cpmp_16_8_103_42_78_7	105,00	158,00	169,00	10,91
	cpmp_16_8_103_42_78_8	101,00	152,00	185,43	11,99
	cpmp_16_8_103_42_78_9	89,00	142,00	158,83	10,73
	cpmp_16_8_103_42_78_10	92,00	162,00	176,83	11,62
	cpmp_16_8_103_42_78_11	115,00	162,00	176,27	11,33
	cpmp_16_8_103_42_78_12	101,00	162,00	192,36	13,46
	cpmp_16_8_103_42_78_13	101,00	151,00	170,73	11,32
	cpmp_16_8_103_42_78_14	101,00	153,00	171,96	11,28
	cpmp_16_8_103_42_78_15	99,00	143,00	158,40	10,93
	cpmp_16_8_103_42_78_16	89,00	149,00	171,66	11,26
	cpmp_16_8_103_42_78_17	110,00	158,00	178,26	11,85
	cpmp_16_8_103_42_78_18	110,00	167,00	183,43	12,33
	cpmp_16_8_103_42_78_19	95,00	141,00	159,00	10,78
	cpmp_16_8_103_42_78_20	117,00	154,00	171,63	11,35
		102,40	155,05	174,54	11,58

Tabla B.17 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF17.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF17	cpmp_20_5_60_12_36_1	41,00	36,00	36,00	1,26
	cpmp_20_5_60_12_36_2	47,00	36,00	39,26	1,31
	cpmp_20_5_60_12_36_3	47,00	41,00	45,06	1,50
	cpmp_20_5_60_12_36_4	53,00	38,00	41,20	1,26
	cpmp_20_5_60_12_36_5	45,00	40,00	43,03	1,37
	cpmp_20_5_60_12_36_6	48,00	36,00	38,70	1,15
	cpmp_20_5_60_12_36_7	47,00	36,00	36,40	1,13
	cpmp_20_5_60_12_36_8	45,00	42,00	44,33	1,27
	cpmp_20_5_60_12_36_9	43,00	36,00	36,53	1,33
	cpmp_20_5_60_12_36_10	44,00	36,00	36,03	1,16
	cpmp_20_5_60_12_36_11	55,00	39,00	42,00	1,29
	cpmp_20_5_60_12_36_12	48,00	36,00	39,13	1,21
	cpmp_20_5_60_12_36_13	17,00	38,00	39,70	1,24
	cpmp_20_5_60_12_36_14	46,00	40,00	43,43	1,36
	cpmp_20_5_60_12_36_15	43,00	36,00	37,23	1,16
	cpmp_20_5_60_12_36_16	46,00	36,00	37,46	1,19
	cpmp_20_5_60_12_36_17	49,00	36,00	40,86	1,18
	cpmp_20_5_60_12_36_18	47,00	36,00	37,16	1,22
	cpmp_20_5_60_12_36_19	48,00	36,00	37,73	1,25
	cpmp_20_5_60_12_36_20	44,00	37,00	41,76	1,38
		45,15	37,35	39,65	1,26

Tabla B.18 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF18.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF18	crmp_20_5_60_12_45_1	55,00	45,00	47,93	1,39
	crmp_20_5_60_12_45_2	49,00	45,00	45,77	1,46
	crmp_20_5_60_12_45_3	61,00	49,00	52,27	1,56
	crmp_20_5_60_12_45_4	57,00	45,00	47,90	1,44
	crmp_20_5_60_12_45_5	62,00	45,00	47,56	1,44
	crmp_20_5_60_12_45_6	57,00	45,00	47,33	1,46
	crmp_20_5_60_12_45_7	54,00	47,00	49,60	1,60
	crmp_20_5_60_12_45_8	67,00	45,00	48,20	1,38
	crmp_20_5_60_12_45_9	58,00	45,00	47,03	1,49
	crmp_20_5_60_12_45_10	52,00	45,00	45,97	1,54
	crmp_20_5_60_12_45_11	68,00	49,00	52,90	1,55
	crmp_20_5_60_12_45_12	60,00	45,00	46,10	1,46
	crmp_20_5_60_12_45_13	56,00	45,00	46,53	1,37
	crmp_20_5_60_12_45_14	49,00	45,00	45,00	1,40
	crmp_20_5_60_12_45_15	56,00	46,00	50,33	1,51
	crmp_20_5_60_12_45_16	57,00	45,00	47,70	1,41
	crmp_20_5_60_12_45_17	61,00	46,00	48,97	1,36
	crmp_20_5_60_12_45_18	53,00	45,00	46,73	1,39
	crmp_20_5_60_12_45_19	53,00	45,00	49,00	1,42
	crmp_20_5_60_12_45_20	55,00	45,00	46,43	1,37
		57,00	45,60	47,96	1,45

Tabla B.19 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF19.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF19	crmp_20_5_60_24_36_1	46,00	37,00	38,67	1,85
	crmp_20_5_60_24_36_2	44,00	36,00	38,27	1,95
	crmp_20_5_60_24_36_3	42,00	36,00	36,90	2,00
	crmp_20_5_60_24_36_4	43,00	38,00	39,63	2,15
	crmp_20_5_60_24_36_5	42,00	36,00	36,13	1,77
	crmp_20_5_60_24_36_6	52,00	40,00	42,23	2,13
	crmp_20_5_60_24_36_7	53,00	36,00	36,40	1,78
	crmp_20_5_60_24_36_8	51,00	45,00	45,80	2,44
	crmp_20_5_60_24_36_9	53,00	42,00	45,07	2,30
	crmp_20_5_60_24_36_10	44,00	36,00	38,27	1,91
	crmp_20_5_60_24_36_11	46,00	36,00	37,07	2,12
	crmp_20_5_60_24_36_12	45,00	42,00	46,90	2,53
	crmp_20_5_60_24_36_13	47,00	37,00	39,53	2,17
	crmp_20_5_60_24_36_14	48,00	38,00	40,67	2,21
	crmp_20_5_60_24_36_15	56,00	39,00	43,90	2,44
	crmp_20_5_60_24_36_16	51,00	40,00	44,07	2,39
	crmp_20_5_60_24_36_17	45,00	36,00	37,50	2,05
	crmp_20_5_60_24_36_18	49,00	36,00	38,60	1,98
	crmp_20_5_60_24_36_19	48,00	36,00	37,60	1,99
	crmp_20_5_60_24_36_20	50,00	36,00	36,77	1,85
		47,75	37,90	40,00	2,10

Tabla B.20 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF20.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF20	crmp_20_5_60_24_45_1	60,00	46,00	49,63	2,60
	crmp_20_5_60_24_45_2	57,00	45,00	46,70	2,26
	crmp_20_5_60_24_45_3	55,00	45,00	48,23	2,33
	crmp_20_5_60_24_45_4	55,00	45,00	46,63	2,51
	crmp_20_5_60_24_45_5	52,00	45,00	47,57	2,60
	crmp_20_5_60_24_45_6	63,00	45,00	45,83	2,31
	crmp_20_5_60_24_45_7	62,00	45,00	48,03	2,39
	crmp_20_5_60_24_45_8	60,00	45,00	49,30	2,33
	crmp_20_5_60_24_45_9	53,00	47,00	48,37	2,49
	crmp_20_5_60_24_45_10	54,00	48,00	51,23	2,45
	crmp_20_5_60_24_45_11	67,00	49,00	52,10	2,53
	crmp_20_5_60_24_45_12	57,00	47,00	48,37	2,47
	crmp_20_5_60_24_45_13	57,00	45,00	50,23	2,57
	crmp_20_5_60_24_45_14	61,00	45,00	48,07	2,39
	crmp_20_5_60_24_45_15	59,00	45,00	49,10	2,47
	crmp_20_5_60_24_45_16	59,00	45,00	47,30	2,42
	crmp_20_5_60_24_45_17	54,00	46,00	48,33	2,46
	crmp_20_5_60_24_45_18	52,00	45,00	45,73	2,34
	crmp_20_5_60_24_45_19	60,00	48,00	50,07	2,61
	crmp_20_5_60_24_45_20	53,00	45,00	47,43	2,51
		57,50	45,80	48,41	2,45

Tabla B.21 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF21.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF21	crmp_20_5_80_16_48_1	54,00	57,00	62,43	1,79
	crmp_20_5_80_16_48_2	68,00	72,00	80,90	2,38
	crmp_20_5_80_16_48_3	66,00	58,00	69,43	1,95
	crmp_20_5_80_16_48_4	61,00	62,00	69,23	2,06
	crmp_20_5_80_16_48_5	62,00	62,00	67,20	2,01
	crmp_20_5_80_16_48_6	62,00	70,00	77,17	2,35
	crmp_20_5_80_16_48_7	75,00	67,00	73,30	2,12
	crmp_20_5_80_16_48_8	67,00	64,00	70,33	1,95
	crmp_20_5_80_16_48_9	63,00	62,00	65,60	2,01
	crmp_20_5_80_16_48_10	60,00	56,00	61,80	1,82
	crmp_20_5_80_16_48_11	60,00	65,00	69,80	1,97
	crmp_20_5_80_16_48_12	61,00	63,00	68,73	2,07
	crmp_20_5_80_16_48_13	64,00	67,00	72,07	2,01
	crmp_20_5_80_16_48_14	73,00	69,00	73,80	2,08
	crmp_20_5_80_16_48_15	67,00	71,00	77,53	2,20
	crmp_20_5_80_16_48_16	57,00	59,00	65,43	2,06
	crmp_20_5_80_16_48_17	63,00	79,00	86,47	2,59
	crmp_20_5_80_16_48_18	56,00	61,00	64,77	1,95
	crmp_20_5_80_16_48_19	72,00	72,00	76,83	2,29
	crmp_20_5_80_16_48_20	60,00	56,00	61,60	1,79
		63,55	64,60	70,72	2,07

Tabla B.22 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF22.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF22	crmp_20_5_80_16_60_1	65,00	70,00	76,73	2,21
	crmp_20_5_80_16_60_2	79,00	71,00	80,33	2,20
	crmp_20_5_80_16_60_3	80,00	82,00	88,03	2,41
	crmp_20_5_80_16_60_4	75,00	78,00	82,43	2,43
	crmp_20_5_80_16_60_5	80,00	81,00	87,63	2,41
	crmp_20_5_80_16_60_6	80,00	73,00	80,50	2,26
	crmp_20_5_80_16_60_7	87,00	82,00	88,80	2,42
	crmp_20_5_80_16_60_8	75,00	73,00	81,23	2,36
	crmp_20_5_80_16_60_9	82,00	80,00	85,20	2,37
	crmp_20_5_80_16_60_10	76,00	76,00	85,73	2,45
	crmp_20_5_80_16_60_11	70,00	69,00	77,30	2,29
	crmp_20_5_80_16_60_12	72,00	72,00	76,63	2,22
	crmp_20_5_80_16_60_13	82,00	84,00	90,33	2,58
	crmp_20_5_80_16_60_14	71,00	72,00	80,20	2,24
	crmp_20_5_80_16_60_15	74,00	76,00	82,93	2,35
	crmp_20_5_80_16_60_16	76,00	79,00	89,60	2,54
	crmp_20_5_80_16_60_17	73,00	69,00	77,23	2,12
	crmp_20_5_80_16_60_18	72,00	74,00	80,50	2,19
	crmp_20_5_80_16_60_19	76,00	77,00	84,77	2,28
	crmp_20_5_80_16_60_20	74,00	75,00	83,87	2,33
		75,95	75,65	83,00	2,33

Tabla B.23 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF23.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF23	crmp_20_5_80_32_48_1	56,00	52,00	55,43	2,77
	crmp_20_5_80_32_48_2	59,00	59,00	62,87	2,94
	crmp_20_5_80_32_48_3	63,00	66,00	73,20	3,45
	crmp_20_5_80_32_48_4	61,00	58,00	62,63	3,25
	crmp_20_5_80_32_48_5	63,00	64,00	67,00	3,24
	crmp_20_5_80_32_48_6	65,00	61,00	64,67	3,16
	crmp_20_5_80_32_48_7	59,00	63,00	68,93	3,35
	crmp_20_5_80_32_48_8	60,00	59,00	64,03	3,07
	crmp_20_5_80_32_48_9	65,00	68,00	72,50	3,29
	crmp_20_5_80_32_48_10	73,00	68,00	72,77	3,55
	crmp_20_5_80_32_48_11	65,00	76,00	81,63	3,82
	crmp_20_5_80_32_48_12	57,00	67,00	73,07	3,51
	crmp_20_5_80_32_48_13	68,00	59,00	64,50	3,01
	crmp_20_5_80_32_48_14	59,00	59,00	66,10	3,22
	crmp_20_5_80_32_48_15	61,00	70,00	75,00	3,53
	crmp_20_5_80_32_48_16	63,00	67,00	73,90	3,49
	crmp_20_5_80_32_48_17	57,00	66,00	76,27	3,96
	crmp_20_5_80_32_48_18	62,00	69,00	76,67	3,45
	crmp_20_5_80_32_48_19	65,00	68,00	72,50	3,49
	crmp_20_5_80_32_48_20	68,00	64,00	67,23	3,25
		62,45	64,15	69,55	3,34

Tabla B.24 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF24.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF24	crmp_20_5_80_32_60_1	77,00	81,00	86,47	3,86
	crmp_20_5_80_32_60_2	79,00	81,00	91,57	4,27
	crmp_20_5_80_32_60_3	74,00	72,00	79,73	3,48
	crmp_20_5_80_32_60_4	70,00	73,00	81,10	3,78
	crmp_20_5_80_32_60_5	74,00	72,00	78,83	3,79
	crmp_20_5_80_32_60_6	82,00	84,00	91,57	4,28
	crmp_20_5_80_32_60_7	75,00	82,00	86,00	4,09
	crmp_20_5_80_32_60_8	78,00	77,00	85,33	3,72
	crmp_20_5_80_32_60_9	73,00	75,00	83,23	3,84
	crmp_20_5_80_32_60_10	83,00	84,00	90,03	3,92
	crmp_20_5_80_32_60_11	83,00	83,00	92,47	4,54
	crmp_20_5_80_32_60_12	81,00	80,00	88,13	3,93
	crmp_20_5_80_32_60_13	80,00	88,00	93,93	4,49
	crmp_20_5_80_32_60_14	65,00	80,00	87,53	4,08
	crmp_20_5_80_32_60_15	78,00	81,00	87,40	4,02
	crmp_20_5_80_32_60_16	78,00	80,00	86,60	4,03
	crmp_20_5_80_32_60_17	75,00	80,00	88,50	3,99
	crmp_20_5_80_32_60_18	71,00	71,00	79,70	3,80
	crmp_20_5_80_32_60_19	65,00	72,00	78,07	3,74
	crmp_20_5_80_32_60_20	70,00	73,00	78,77	3,75
		75,55	78,45	85,75	3,97

Tabla B.25 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF25.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF25	crmp_20_8_96_20_58_1	77,00	73,00	77,40	5,58
	crmp_20_8_96_20_58_2	84,00	88,00	93,30	6,46
	crmp_20_8_96_20_58_3	69,00	87,00	91,73	6,85
	crmp_20_8_96_20_58_4	69,00	82,00	86,20	6,23
	crmp_20_8_96_20_58_5	80,00	70,00	76,40	5,12
	crmp_20_8_96_20_58_6	73,00	83,00	88,67	6,60
	crmp_20_8_96_20_58_7	68,00	70,00	72,57	5,68
	crmp_20_8_96_20_58_8	71,00	81,00	85,33	6,17
	crmp_20_8_96_20_58_9	80,00	84,00	89,23	6,10
	crmp_20_8_96_20_58_10	77,00	75,00	79,23	5,78
	crmp_20_8_96_20_58_11	70,00	78,00	85,47	6,43
	crmp_20_8_96_20_58_12	72,00	71,00	76,47	5,54
	crmp_20_8_96_20_58_13	69,00	70,00	80,53	5,91
	crmp_20_8_96_20_58_14	75,00	75,00	83,33	6,10
	crmp_20_8_96_20_58_15	73,00	80,00	84,93	6,33
	crmp_20_8_96_20_58_16	76,00	78,00	82,53	5,66
	crmp_20_8_96_20_58_17	69,00	76,00	79,87	5,52
	crmp_20_8_96_20_58_18	78,00	73,00	80,10	5,82
	crmp_20_8_96_20_58_19	82,00	85,00	90,20	6,79
	crmp_20_8_96_20_58_20	84,00	74,00	80,63	5,49
		74,80	77,65	83,21	6,01

Tabla B.26 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF26.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF26	crmp_20_8_96_20_72_1	92,00	88,00	96,30	7,00
	crmp_20_8_96_20_72_2	92,00	97,00	106,87	7,92
	crmp_20_8_96_20_72_3	88,00	100,00	109,73	7,74
	crmp_20_8_96_20_72_4	90,00	91,00	102,90	7,42
	crmp_20_8_96_20_72_5	87,00	81,00	87,73	6,26
	crmp_20_8_96_20_72_6	87,00	92,00	110,73	8,03
	crmp_20_8_96_20_72_7	91,00	98,00	107,03	7,89
	crmp_20_8_96_20_72_8	85,00	87,00	102,53	7,20
	crmp_20_8_96_20_72_9	90,00	94,00	99,10	7,30
	crmp_20_8_96_20_72_10	83,00	86,00	97,13	7,60
	crmp_20_8_96_20_72_11	83,00	88,00	99,23	7,39
	crmp_20_8_96_20_72_12	95,00	88,00	94,40	6,14
	crmp_20_8_96_20_72_13	89,00	90,00	97,73	7,26
	crmp_20_8_96_20_72_14	92,00	81,00	91,03	6,17
	crmp_20_8_96_20_72_15	86,00	79,00	86,73	6,04
	crmp_20_8_96_20_72_16	87,00	80,00	89,53	6,75
	crmp_20_8_96_20_72_17	81,00	107,00	112,43	8,28
	crmp_20_8_96_20_72_18	97,00	83,00	93,07	6,39
	crmp_20_8_96_20_72_19	80,00	89,00	96,37	7,13
	crmp_20_8_96_20_72_20	90,00	91,00	99,10	7,17
		88,25	89,50	98,98	7,15



Tabla B.27 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF27.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF27	crmp_20_8_96_39_58_1	75,00	90,00	95,17	12,87
	crmp_20_8_96_39_58_2	76,00	89,00	96,67	12,75
	crmp_20_8_96_39_58_3	84,00	91,00	96,23	12,45
	crmp_20_8_96_39_58_4	75,00	77,00	82,50	11,62
	crmp_20_8_96_39_58_5	68,00	71,00	82,20	10,87
	crmp_20_8_96_39_58_6	67,00	74,00	78,53	10,16
	crmp_20_8_96_39_58_7	78,00	81,00	87,00	11,04
	crmp_20_8_96_39_58_8	70,00	81,00	87,07	11,41
	crmp_20_8_96_39_58_9	75,00	84,00	89,00	11,17
	crmp_20_8_96_39_58_10	74,00	78,00	83,47	11,09
	crmp_20_8_96_39_58_11	66,00	76,00	82,60	11,28
	crmp_20_8_96_39_58_12	74,00	65,00	71,30	9,55
	crmp_20_8_96_39_58_13	72,00	79,00	85,30	10,49
	crmp_20_8_96_39_58_14	71,00	85,00	90,50	12,53
	crmp_20_8_96_39_58_15	77,00	85,00	89,83	10,87
	crmp_20_8_96_39_58_16	66,00	84,00	88,30	12,24
	crmp_20_8_96_39_58_17	81,00	85,00	89,47	10,94
	crmp_20_8_96_39_58_18	75,00	76,00	81,00	9,85
	crmp_20_8_96_39_58_19	78,00	93,00	98,73	12,60
	crmp_20_8_96_39_58_20	88,00	80,00	84,10	10,14
		74,50	81,20	86,95	11,30

Tabla B.28 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF28.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF28	crmp_20_8_96_39_72_1	92	88	94,467	11
	crmp_20_8_96_39_72_2	79	91	101,7	12
	crmp_20_8_96_39_72_3	87	87	95,367	13
	crmp_20_8_96_39_72_4	80	84	95,467	12
	crmp_20_8_96_39_72_5	92	93	100,367	13
	crmp_20_8_96_39_72_6	95	86	94,267	12
	crmp_20_8_96_39_72_7	92	98	106,467	14,82
	crmp_20_8_96_39_72_8	102	97	102,933	14
	crmp_20_8_96_39_72_9	81	92	100,233	13
	crmp_20_8_96_39_72_10	102	98	103,9	14
	crmp_20_8_96_39_72_11	82	87	93,8	12
	crmp_20_8_96_39_72_12	85	85	89,3	12
	crmp_20_8_96_39_72_13	94	121	128,767	18
	crmp_20_8_96_39_72_14	81	88	95,3	12
	crmp_20_8_96_39_72_15	87	103	109,833	14
	crmp_20_8_96_39_72_16	93	94	101,767	14
	crmp_20_8_96_39_72_17	89	101	109,567	13,61
	crmp_20_8_96_39_72_18	100	87	91,733	11
	crmp_20_8_96_39_72_19	83	93	100,533	13
	crmp_20_8_96_39_72_20	86	101	108,167	14
		89,1	93,7	101,19675	13,118

Tabla B.29 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF29.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF29	crmp_20_8_128_26_77_1	106,00	128,00	142,77	9,72
	crmp_20_8_128_26_77_2	118,00	143,00	159,73	10,87
	crmp_20_8_128_26_77_3	97,00	126,00	141,77	9,65
	crmp_20_8_128_26_77_4	94,00	113,00	135,63	8,63
	crmp_20_8_128_26_77_5	106,00	127,00	140,67	9,41
	crmp_20_8_128_26_77_6	117,00	137,00	147,40	9,76
	crmp_20_8_128_26_77_7	115,00	142,00	154,73	10,23
	crmp_20_8_128_26_77_8	103,00	137,00	149,67	10,18
	crmp_20_8_128_26_77_9	109,00	126,00	142,87	9,79
	crmp_20_8_128_26_77_10	103,00	121,00	134,53	9,06
	crmp_20_8_128_26_77_11	108,00	130,00	142,13	9,22
	crmp_20_8_128_26_77_12	117,00	141,00	151,33	9,82
	crmp_20_8_128_26_77_13	116,00	133,00	148,70	9,82
	crmp_20_8_128_26_77_14	103,00	139,00	150,93	9,89
	crmp_20_8_128_26_77_15	108,00	134,00	149,70	9,75
	crmp_20_8_128_26_77_16	97,00	127,00	142,37	9,52
	crmp_20_8_128_26_77_17	121,00	145,00	157,47	10,39
	crmp_20_8_128_26_77_18	102,00	135,00	147,77	10,56
	crmp_20_8_128_26_77_19	102,00	129,00	149,63	9,89
	crmp_20_8_128_26_77_20	118,00	140,00	153,27	10,37
		108,00	132,65	147,15	9,83

Tabla B.30 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF30.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF30	cpmp_20_8_128_26_96_1	142,00	223,00	238,27	15,13
	cpmp_20_8_128_26_96_2	122,00	186,00	208,13	13,31
	cpmp_20_8_128_26_96_3	112,00	173,00	186,03	12,15
	cpmp_20_8_128_26_96_4	117,00	179,00	197,03	12,85
	cpmp_20_8_128_26_96_5	130,00	176,00	191,87	11,93
	cpmp_20_8_128_26_96_6	120,00	161,00	175,70	11,30
	cpmp_20_8_128_26_96_7	123,00	174,00	191,30	12,95
	cpmp_20_8_128_26_96_8	135,00	194,00	218,03	13,38
	cpmp_20_8_128_26_96_9	123,00	171,00	192,90	12,74
	cpmp_20_8_128_26_96_10	123,00	178,00	197,73	12,80
	cpmp_20_8_128_26_96_11	125,00	196,00	207,77	13,70
	cpmp_20_8_128_26_96_12	111,00	170,00	185,40	11,81
	cpmp_20_8_128_26_96_13	106,00	156,00	172,63	11,81
	cpmp_20_8_128_26_96_14	127,00	175,00	190,80	12,00
	cpmp_20_8_128_26_96_15	125,00	166,00	182,17	12,58
	cpmp_20_8_128_26_96_16	133,00	198,00	216,40	14,09
	cpmp_20_8_128_26_96_17	115,00	157,00	175,53	11,23
	cpmp_20_8_128_26_96_18	120,00	174,00	186,93	11,66
	cpmp_20_8_128_26_96_19	120,00	166,00	191,33	12,55
	cpmp_20_8_128_26_96_20	120,00	167,00	191,43	12,59
		122,45	177,00	194,87	12,07

Tabla B.31 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF31.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF31	cpmp_20_8_128_52_77_1	108,00	146,00	162,00	19,50
	cpmp_20_8_128_52_77_2	103,00	128,00	141,40	17,52
	cpmp_20_8_128_52_77_3	100,00	138,00	154,13	20,58
	cpmp_20_8_128_52_77_4	117,00	146,00	160,50	18,52
	cpmp_20_8_128_52_77_5	105,00	141,00	155,87	18,06
	cpmp_20_8_128_52_77_6	95,00	125,00	137,10	15,77
	cpmp_20_8_128_52_77_7	115,00	155,00	170,03	20,65
	cpmp_20_8_128_52_77_8	103,00	135,00	153,80	18,43
	cpmp_20_8_128_52_77_9	96,00	119,00	136,73	16,67
	cpmp_20_8_128_52_77_10	101,00	142,00	154,20	19,59
	cpmp_20_8_128_52_77_11	109,00	147,00	163,47	19,49
	cpmp_20_8_128_52_77_12	100,00	147,00	164,30	19,65
	cpmp_20_8_128_52_77_13	108,00	154,00	168,30	21,06
	cpmp_20_8_128_52_77_14	107,00	146,00	152,90	18,26
	cpmp_20_8_128_52_77_15	107,00	136,00	151,10	18,13
	cpmp_20_8_128_52_77_16	101,00	130,00	144,57	18,07
	cpmp_20_8_128_52_77_17	122,00	140,00	150,53	18,88
	cpmp_20_8_128_52_77_18	108,00	142,00	154,07	18,97
	cpmp_20_8_128_52_77_19	109,00	155,00	166,53	20,37
	cpmp_20_8_128_52_77_20	109,00	149,00	161,77	19,48
		106,15	141,05	155,17	18,88

Tabla B.32 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta BF32.

CARPETA	CASO	LB	MCM2	PCM2	TE[seg]
BF32	cpmp_20_8_128_52_96_2	122	173	191,067	23
	cpmp_20_8_128_52_96_2	115	162	194,533	22
	cpmp_20_8_128_52_96_3	119	153	181,767	22
	cpmp_20_8_128_52_96_4	129	190	217,033	27
	cpmp_20_8_128_52_96_5	109	171	200,267	23,51
	cpmp_20_8_128_52_96_6	135	217	235,833	30
	cpmp_20_8_128_52_96_7	117	175	191,633	24
	cpmp_20_8_128_52_96_8	136	185	204,6	23
	cpmp_20_8_128_52_96_9	120	188	205,667	24
	cpmp_20_8_128_52_96_10	120	187	202,733	24
	cpmp_20_8_128_52_96_11	115	165	192,767	24
	cpmp_20_8_128_52_96_12	115	177	195,467	24
	cpmp_20_8_128_52_96_13	122	184	201,867	25
	cpmp_20_8_128_52_96_14	121	179	204,7	27
	cpmp_20_8_128_52_96_15	116	166	192,667	24
	cpmp_20_8_128_52_96_16	119	172	190,767	24
	cpmp_20_8_128_52_96_17	127	175	206,633	26
	cpmp_20_8_128_52_96_18	123	183	201,733	25
	cpmp_20_8_128_52_96_1	135	196	217,8	26,19
	cpmp_20_8_128_52_96_1	111	154	172,767	21
		121,3	177,6	200,11505	24,385

## Carpetas M. Caserta y S. VoB. Utilizando Algoritmo Heurístico.

Tabla B.33 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV1.

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
CV1	CV1_1.bay	9,00	15,00	15,00	0,17
	CV1_2.bay	8,00	12,00	12,00	0,13
	CV1_3.bay	11,00	13,00	13,00	0,15
	CV1_4.bay	11,00	15,00	15,00	0,15
	CV1_5.bay	13,00	17,00	17,00	0,18
	CV1_6.bay	9,00	11,00	11,00	0,14
	CV1_7.bay	9,00	8,00	8,00	0,13
	CV1_8.bay	11,00	12,00	12,00	0,15
	CV1_9.bay	8,00	10,00	10,00	0,14
	CV1_10.bay	8,00	12,00	12,00	0,14
		53,52	76,38	85,61	0,15

Tabla B.34 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV2.

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
CV2	CV2_1.bay	19,00	22,00	23,97	0,38
	CV2_2.bay	16,00	21,00	22,47	0,34
	CV2_3.bay	13,00	8,00	8,00	0,21
	CV2_4.bay	20,00	19,00	21,37	0,33
	CV2_5.bay	20,00	24,00	27,83	0,38
	CV2_6.bay	18,00	21,00	24,47	0,35
	CV2_7.bay	20,00	25,00	26,00	0,37
	CV2_8.bay	17,00	19,00	22,53	0,34
	CV2_9.bay	16,00	19,00	22,60	0,35
	CV2_10.bay	21,00	28,00	30,20	0,42
		15,13	18,37	20,00	0,35

Tabla B.35 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV3.

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
CV3	CV3_1.bay	28,00	33,00	37,67	1,21
	CV3_2.bay	25,00	28,00	32,30	1,04
	CV3_3.bay	21,00	28,00	32,27	1,08
	CV3_4.bay	32,00	28,00	32,80	1,08
	CV3_5.bay	26,00	31,00	36,93	1,16
	CV3_6.bay	32,00	32,00	37,27	1,19
	CV3_7.bay	37,00	41,00	49,87	1,55
	CV3_8.bay	31,00	31,00	33,30	1,10
	CV3_9.bay	29,00	39,00	43,53	1,36
	CV3_10.bay	25,00	27,00	34,23	1,11
		21,66	24,57	28,26	1,19

Tabla B.36 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta CV4.

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
CV4	CV4_1.bay	39,00	42,00	49,50	3,83
	CV4_2.bay	30,00	41,00	46,57	3,55
	CV4_3.bay	38,00	53,00	61,73	4,64
	CV4_4.bay	46,00	55,00	61,37	4,62
	CV4_5.bay	36,00	44,00	53,77	4,08
	CV4_6.bay	40,00	56,00	63,67	4,87
	CV4_7.bay	32,00	43,00	48,87	3,75
	CV4_8.bay	37,00	44,00	52,27	4,01
	CV4_9.bay	38,00	38,00	42,60	3,25
	CV4_10.bay	41,00	47,00	53,90	4,15
		30,53	35,83	41,52	4,07

## Carpetas Lee y Chao Utilizando Algoritmo Heurístico.

Tabla B.37 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC2a..

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
LC2a	lc2a_1.bay	35,00	27,00	30,77	0,57
	lc2a_2.bay	33,00	25,00	26,57	0,53
	lc2a_3.bay	33,00	24,00	26,83	0,52
	lc2a_4.bay	33,00	27,00	29,40	0,54
	lc2a_5.bay	35,00	31,00	32,77	0,66
	lc2a_6.bay	27,00	26,00	27,30	0,52
	lc2a_7.bay	29,00	24,00	27,90	0,53
	lc2a_8.bay	29,00	23,00	26,93	0,51
	lc2a_9.bay	31,00	21,00	23,97	0,49
	lc2a_10.bay	28,00	26,00	27,67	0,55
		30,68	30,84	34,90	0,54

Tabla B.38 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC2b.

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
LC2b	lc2b_1.bay	52,00	52,00	59,00	1,01
	lc2b_2.bay	51,00	55,00	59,13	0,94
	lc2b_3.bay	53,00	56,00	61,83	0,98
	lc2b_4.bay	50,00	56,00	61,13	0,98
	lc2b_5.bay	54,00	50,00	59,27	0,94
	lc2b_6.bay	51,00	53,00	56,83	0,92
	lc2b_7.bay	62,00	54,00	59,27	0,95
	lc2b_8.bay	45,00	46,00	50,50	0,84
	lc2b_9.bay	45,00	45,00	49,33	0,79
	lc2b_10.bay	60,00	56,00	63,27	1,0
		38,28	36,59	40,52	0,83

Tabla B.39 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC3a.

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
LC3a	lc3a_1.bay	26,00	23,00	24,87	0,51
	lc3a_2.bay	32,00	32,00	34,00	0,58
	lc3a_3.bay	30,00	29,00	32,27	0,56
	lc3a_4.bay	26,00	28,00	30,17	0,57
	lc3a_5.bay	31,00	30,00	34,17	0,57
	lc3a_6.bay	33,00	30,00	32,30	0,53
	lc3a_7.bay	29,00	30,00	31,80	0,56
	lc3a_8.bay	32,00	29,00	31,50	0,55
	lc3a_9.bay	35,00	27,00	28,23	0,54
	lc3a_10.bay	28,00	29,00	30,77	0,55
		35,36	34,18	37,51	0,55

Tabla B.40 Tabla de Resultados Obtenidos Para la Carpeta LC3b.

CARPETA	CASO	LB	MCM	PCM	TE[seg]
LC3b	lc3b_1.bay	47,00	62,00	66,87	1,05
	lc3b_2.bay	47,00	51,00	57,07	0,87
	lc3b_3.bay	51,00	54,00	58,90	0,96
	lc3b_4.bay	58,00	57,00	61,80	0,92
	lc3b_5.bay	53,00	55,00	60,07	0,90
	lc3b_6.bay	54,00	59,00	65,20	1,00
	lc3b_7.bay	54,00	59,00	65,47	0,97
	lc3b_8.bay	55,00	47,00	52,23	0,79
	lc3b_9.bay	51,00	57,00	61,40	0,91
	lc3b_10.bay	44,00	55,00	60,83	0,93
		38,17	39,66	43,31	0,93