

“DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA ASIGNACIÓN DE FLOTA  
VEHICULAR EN EMPRESAS QUE MANIPULEN TRANSPORTE DE CARGA”

EDUARDO ENRIQUE SERRANO CONDE

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA

2005

“Diseño de un Modelo de Optimización para Asignación de Flota Vehicular en Empresas  
que Manipulen Transporte de Carga”

Eduardo Enrique Serrano Conde

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2005

**“DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA ASIGNACIÓN DE FLOTA  
VEHICULAR EN EMPRESAS QUE MANIPULEN TRANSPORTE DE CARGA”**

**EDUARDO ENRIQUE SERRANO CONDE**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director del Proyecto

**CARLOS EDUARDO DÍAZ BOHÓRQUEZ**

Docente de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Codirector del Proyecto

**NÉSTOR RAÚL ORTIZ PIMIENTO**

Docente de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**BUCARAMANGA**

**2005**

## RESUMEN

**TÍTULO:** Diseño de un modelo de optimización para asignación de flota vehicular en empresas que manipulen transporte de carga\*

**AUTOR:** Eduardo Enrique Serrano Conde\*\*

**PALABRAS CLAVE:** flota, asignación, programación, modelo, restricciones.

El transporte de carga generalmente representa el costo logístico más importante en la mayoría de las empresas. La empresa ERCO S.A. cuenta con equipos propios y alquilados para el desarrollo del proceso de transporte de carga. Existen dos factores que afectan la efectividad y el costo de este proceso, como son: los viajes no compensados y los tiempos muertos, los cuales reducen notablemente la utilización de los vehículos propios y alquilados. Ante esta situación, ERCO S.A. ha diseñado dos posibles estrategias de solución del problema de transporte, el cual está relacionado directamente con la asignación y programación de flota vehicular. La asignación de flota es el punto de partida para su programación, por esta razón, se diseñaron dos modelos matemáticos de asignación de flota vehicular, uno para cada estrategia, los cuales permiten identificar la combinación de viajes que causará el mínimo costo total de transporte para un determinado periodo de tiempo, respetando las restricciones que caracterizan este proceso, como oferta y demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados; disponibilidad de flota, viajes vacíos y almacenamiento. Los modelos matemáticos se utilizarán como herramienta de soporte en el proceso de selección de la estrategia de solución del problema de transporte, posteriormente, debe desarrollarse un análisis de sensibilidad para cada modelo, pero evaluando los mismos escenarios; con el fin de encontrar la mejor alternativa de movilización de materias primas, productos en proceso y productos terminados para cada estrategia, al mismo tiempo que se evalúa cual es la mejor estrategia en términos de costos totales de transporte para un determinado periodo de tiempo.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.  
Carlos Eduardo Díaz Bohórquez

## ABSTRACT

**TITLE:** Design of an optimization model for companies that use load transportation.\*

**AUTOR:** Eduardo Enrique Serrano Conde\*\*

**KEY WORDS:** fleet, assignation, programming, model, constraints

Load transportation generally represents the most important logistical cost in most of the companies. The company ERCO CORP. has own and rented vehicles for the development of load transportation process. It exists two factors that affect the effectiveness and the cost of this process, like not compensated trips and time outs, which reduce the use of the own and rented vehicles notably. Because of this situation, ERCO CORP. has designed two possible strategies for solving transportation problem, which is related directly with the assignment and programming of vehicular fleet. The fleet assignment is the starting point for its programming, for this reason, two mathematical models of assignment of vehicular fleet were designed, one for each strategy, which allow to identify the combination of trips that will cause the minimum total cost of transport for a certain period of time, respecting the restrictions that characterize this process, as supply and demand of raw materials, products in process and finished products; fleet readiness, empty trips and storage. The mathematical models will be used as support tool in the process of selection of the strategy of solution of transportation problem, then, an analysis of sensibility should be developed for each model, but evaluating the same scenarios; with the purpose of finding the best alternative of mobilization of raw materials, products in process and finished products for each strategy, at the same time that it is evaluated which is the best strategy in terms of total transportation cost for a certain period of time.

---

\* Graduation Work

\*\* Faculty of Physicalmechanical Engineerings. Industrial Engineering. Carlos Eduardo Díaz Bohórquez

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO</b>	<b>15</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>15</b>
1.1. El transporte terrestre de carga en Colombia	20
1.2. Investigación de operaciones como apoyo a la logística	23
<b>CAPÍTULO 2: IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS</b>	<b>25</b>
<b>2. IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS</b>	<b>25</b>
2.1. Objetivo General	28
2.2. Objetivos Específicos	29
2.3. Descripción de la Investigación	29
<b>CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA EMPRESA ERCO S.A.</b>	<b>30</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA EMPRESA ERCO S.A.</b>	<b>30</b>
3.1. Red de distribución	34
3.1.1. Costos de transporte	38
3.1.2. Cargas de compensación	39
3.1.3. Rutas	40
3.1. Problema de transporte	42
<b>CAPÍTULO 4: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>45</b>
<b>4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>45</b>
4.1. Estrategia 1	46
4.2. Estrategia 2	48
4.3. Modelos matemáticos propuestos	52

<b>CAPÍTULO 5: DISEÑO DE MODELOS MATEMÁTICOS</b>	<b>58</b>
<b>5. DISEÑO DE MODELOS MATEMÁTICOS</b>	<b>58</b>
5.1. Índices del modelo	59
5.2. Parámetros del modelo	60
5.3. Restricciones del modelo	66
5.4. Modelo 1	74
5.4.1. Índices del modelo	77
5.4.2. Modelo matemático	78
5.5. Modelo 2	86
5.5.1. Índices del modelo	88
5.5.2. Modelo matemático	89
<b>CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>101</b>
<b>6. EVALUACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>101</b>
6.1. Estrategia 1	105
6.2. Estrategia 2	107
6.3. Comparación de las estrategias logísticas	110
6.4. Análisis de sensibilidad	112
6.4.1. Escenario 1	114
6.4.2. Escenario 2	116
6.4.3. Escenario 3	117
6.4.4. Escenario 4	119
6.4.5. Escenario 5	129
6.4.6. Comparación general de los escenarios	132
6.5. Validación del modelo	135
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>140</b>
7.1. CONCLUSIONES	140
7.2. RECOMENDACIONES	142
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>145</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO A: TABLA DE FLETES DEL MINISTERIO DE TRANSPORTE</b>	<b>148</b>
<b>ANEXO B: COSTOS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO C: TABLAS DE SOPORTE EN EL DISEÑO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS</b>	<b>163</b>
<b>ANEXO D: RESULTADOS GAMS</b>	<b>165</b>
<b>ANEXO E: FORMATO DE RESULTADOS EXCEL</b>	<b>213</b>
<b>ANEXO F: BIG BAGS</b>	<b>228</b>

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Actividades logísticas _____	16
<b>Tabla 2</b>	Comparación general de los modos básicos de transporte _____	19
<b>Tabla 3</b>	Restricciones nacionales del transporte terrestre de carga _____	20
<b>Tabla 4</b>	Restricción pico y placa _____	22
<b>Tabla 5</b>	Contenedores de la empresa _____	33
<b>Tabla 6</b>	Vehículos disponibles _____	34
<b>Tabla 7</b>	Proveedores de la empresa _____	35
<b>Tabla 8</b>	Capacidad de carga de los contenedores de la empresa _____	37
<b>Tabla 9</b>	Embalaje de materias primas, productos en proceso y productos terminados _____	37
<b>Tabla 10</b>	Listado actual de rutas _____	41
<b>Tabla 11</b>	Nuevas condiciones de embalaje _____	46
<b>Tabla 12</b>	Listado de rutas de la estrategia 1 _____	47
<b>Tabla 13</b>	Almacenamientos en el C.A. _____	49
<b>Tabla 14</b>	Listado de rutas de la estrategia 2 _____	51
<b>Tabla 15</b>	Índices de los modelos matemáticos _____	60
<b>Tabla 16</b>	Demanda de maíz y sorgo _____	68
<b>Tabla 17</b>	Oferta de maíz y sorgo _____	68
<b>Tabla 18</b>	Índices del modelos, ejemplo 5-1 _____	68
<b>Tabla 19</b>	Índices modificados, ejemplo 5-2 _____	71
<b>Tabla 20</b>	Listado definitivo de los índices del modelo, ejemplo 5-3 _____	72
<b>Tabla 21</b>	Demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 1 _____	75
<b>Tabla 22</b>	Oferta de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 1 _____	76
<b>Tabla 23</b>	Disponibilidad de flota _____	76

<b>Tabla 24</b>	Índices del modelo 1 _____	77
<b>Tabla 25</b>	Demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 2 _____	87
<b>Tabla 26</b>	Demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 2 _____	87
<b>Tabla 27</b>	Índices del modelo 2 _____	88
<b>Tabla 28</b>	Convenciones del formato de resultados _____	101
<b>Tabla 29</b>	Resultados del modelo 1 _____	105
<b>Tabla 30</b>	Resultados del modelo 2 _____	107
<b>Tabla 31</b>	Costos mensuales de transporte _____	111
<b>Tabla 32</b>	Listado de escenarios _____	114
<b>Tabla 33</b>	Ajuste por liberación de flota propia _____	115
<b>Tabla 34</b>	Ajuste por liberación de flota alquilada _____	116
<b>Tabla 35</b>	Ajuste por liberación de flota propia y alquilada _____	118
<b>Tabla 36</b>	Ajuste por liberación de equipos propios y alquilados _____	120
<b>Tabla 37</b>	Combinaciones óptimas de transporte _____	128
<b>Tabla 38</b>	Ajuste por adquisición de equipos _____	130
<b>Tabla 39</b>	Combinaciones óptimas de transporte, conclusiones _____	141
<b>Tabla 40</b>	Costos de transporte con equipos propios, estrategia 1 _____	150
<b>Tabla 41</b>	Costos de transporte con equipos alquilados, estrategia 1 _____	152
<b>Tabla 42</b>	Tarifas del contratista, estrategia 1 _____	154
<b>Tabla 43</b>	Costos de transporte con equipos propios, estrategia 2 _____	155
<b>Tabla 44</b>	Costos de transporte con equipos alquilados, estrategia 2 _____	158
<b>Tabla 45</b>	Tarifas del contratista, estrategia 2 _____	161
<b>Tabla 46</b>	Soporte en el diseño del modelo 1 _____	163
<b>Tabla 47</b>	Soporte en el diseño del modelo 2 _____	164

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Restricción peso/volumen _____	21
<b>Figura 2</b>	Red de distribución de ERCO S.A. _____	36
<b>Figura 3</b>	Formato de interpretación de resultados _____	104
<b>Figura 4</b>	CEDI Bogotá, contenedor tipo tanque _____	218
<b>Figura 5</b>	CEDI Bogotá, contenedor tipo volco _____	219
<b>Figura 6</b>	CEDI Bogotá, contenedor tipo plataforma _____	220
<b>Figura 7</b>	CEDI Bogotá, contenedor tipo multipropósito (cargado) _____	221
<b>Figura 8</b>	CEDI Bogotá, contenedor tipo multipropósito (vacío) _____	222
<b>Figura 9</b>	C.A., contenedor tipo tanque _____	223
<b>Figura 10</b>	C.A., contenedor tipo volco (cargado) _____	224
<b>Figura 11</b>	C.A., contenedor tipo volco (vacío) _____	225
<b>Figura 12</b>	C.A., contenedor tipo plataforma (cargado) _____	226
<b>Figura 13</b>	C.A., contenedor tipo plataforma (vacío) _____	227
<b>Figura 14</b>	C.A., contenedor tipo multipropósito (materias primas a granel) _____	228
<b>Figura 15</b>	C.A., contenedor tipo multipropósito (materias primas en big bags) _____	229
<b>Figura 16</b>	C.A., contenedor tipo multipropósito (productos en proceso y productos terminados) _____	230
<b>Figura 17</b>	C.A., contenedor tipo multipropósito (vacío) _____	231

## LISTADO DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1</b>	Costo mensual de transporte _____	111
<b>Gráfica 2</b>	Costo anual de transporte _____	112
<b>Gráfica 3</b>	Escenario 1 _____	115
<b>Gráfica 4</b>	Escenario 2 _____	117
<b>Gráfica 5</b>	Escenario 3 _____	118
<b>Gráfica 6</b>	CEDI Bogotá, tanques propios _____	120
<b>Gráfica 7</b>	CEDI Bogotá, tanques alquilados _____	121
<b>Gráfica 8</b>	C.A., tanques propios _____	121
<b>Gráfica 9</b>	C.A., tanques alquilados _____	122
<b>Gráfica 10</b>	CEDI Bogotá, volcos propios _____	122
<b>Gráfica 11</b>	CEDI Bogotá, volcos alquilados _____	123
<b>Gráfica 12</b>	C.A., volcos propios _____	123
<b>Gráfica 13</b>	C.A., volcos alquilados _____	124
<b>Gráfica 14</b>	CEDI Bogotá, plataformas propias _____	124
<b>Gráfica 15</b>	CEDI Bogotá, plataformas alquiladas _____	125
<b>Gráfica 16</b>	C.A., plataformas propias _____	125
<b>Gráfica 17</b>	C.A., plataformas alquiladas _____	126
<b>Gráfica 18</b>	CEDI Bogotá, multipropósitos propios _____	126
<b>Gráfica 19</b>	CEDI Bogotá, multipropósitos alquilados _____	127
<b>Gráfica 20</b>	C.A., multipropósitos propios _____	127
<b>Gráfica 21</b>	C.A., multipropósitos alquilados _____	128
<b>Gráfica 22</b>	Tanques, CEDI Bogotá _____	130
<b>Gráfica 23</b>	Tanques, C.A. _____	131
<b>Gráfica 24</b>	Multipropósitos, CEDI Bogotá _____	131
<b>Gráfica 25</b>	Multipropósitos, C.A. _____	132
<b>Gráfica 26</b>	CEDI Bogotá, comparación de resultados _____	133



## **CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO**

### **1. MARCO TEÓRICO**

El actual entorno empresarial, competitivo y en permanente evolución, obliga a las empresas a desarrollar estrategias innovadoras que agreguen valor a sus clientes. Una de estas estrategias, es la correcta administración de la cadena de abastecimiento. La cadena de suministro abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y la transformación de bienes, desde la etapa de compra o extracción de materias primas, hasta la entrega de productos terminados a los usuarios finales, así como los flujos de información relacionados a lo largo de todo el proceso de producción y distribución.

La ciencia encargada de la administración de la cadena de suministro es la logística, la cual se define como la integración de las actividades desarrolladas en la cadena de suministro, mediante el mejoramiento de las relaciones al interior de ésta, para alcanzar una ventaja competitiva sustentable.<sup>1</sup>

La logística gira en torno a crear valor para los clientes y proveedores de la empresa. El valor en la logística se expresa fundamentalmente en términos de tiempo y lugar, debido a que los productos y servicios no tienen valor para los clientes, a menos que estén disponibles cuándo y dónde ellos deseen adquirirlos.

---

<sup>1</sup> BALLOU R. Logística: Administración de la Cadena de Suministro, 5ª ed., Pearson Educación, México, 2004. P.11

El hecho de tener los bienes y servicios en el momento y lugar que el cliente lo necesite, permite fortalecer a una empresa, mediante factores como la consolidación de la imagen .

Cuando una empresa incurre en el costo de mover un producto hacia el consumidor o de tener un inventario disponible de manera oportuna, ha creado un valor para el cliente que antes no tenía. Este valor es tan importante como el que se crea mediante la fabricación de un producto de alta calidad o mediante el ofrecimiento de precios bajos.

La logística implica la dirección de una serie de actividades relacionadas con su operación, estas actividades pueden variar considerablemente de una empresa a otra. Las actividades logísticas se dividen en actividades clave y actividades de apoyo.

**Tabla 1** Actividades logísticas

<b>ACTIVIDADES LOGÍSTICAS</b>	
<b>Clave</b>	<b>De apoyo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estándares de servicio</li> <li>• Transporte</li> <li>• Manejo de inventarios</li> <li>• Flujo de información y procesamiento de pedidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenamiento</li> <li>• Manejo de materiales</li> <li>• Compras</li> <li>• Embalaje</li> <li>• Cooperación con producción y operaciones</li> <li>• Mantenimiento de inventarios</li> </ul>

Las actividades clave son las que más contribuyen al costo total de logística o son esenciales para la coordinación efectiva y para completar la tarea logística.

El transporte y el mantenimiento de inventarios son las actividades logísticas que absorben más costos. La experiencia ha demostrado que ambas representan de 50 a 66% de los costos logísticos totales. El transporte añade valor de *lugar* a los bienes y servicios, en tanto que los inventarios añaden valor de tiempo.<sup>2</sup>

El transporte de carga es el elemento encargado de la integración de los diferentes agentes de la cadena de suministro de una empresa, mediante la movilización de materias primas, productos en proceso y productos terminados.

En el ámbito empresarial, el transporte tiene una gran incidencia en los niveles de competitividad y efectividad de la industria; además incide directamente en la calidad de vida y la competitividad del país. El transporte generalmente representa el elemento individual más importante en los costos logísticos para la mayoría de las empresas. Se ha observado que el movimiento de carga absorbe entre uno y dos tercios de los costos logísticos totales.<sup>3</sup>

Un sistema de transporte eficiente y económico contribuye a la penetración en nuevos mercados, a la creación de economías de escala en la producción y a la reducción de precio en los bienes y servicios.

Cuando una empresa decide optimizar su proceso de transporte de carga, está impulsando una forma de competencia indirecta para sus productos, mediante la reducción del precio de los mismos, debido a que el transporte, junto con la producción, ventas y otros gastos de distribución componen el costo agregado de un producto.

En caso de que una empresa logre penetrar en nuevos mercados, la demanda de sus productos aumenta, situación que contribuye a la generación de economías de

---

<sup>2</sup> Ibid., p. 19

<sup>3</sup> Ibid., p. 174

escala, debido a que a mayor demanda, menores costos de producción, logrando así fomentar una mayor utilización de sus instalaciones productivas.

El transporte de bajo costo le permite a las empresas descentralizar sus mercados y los puntos de producción, dando la oportunidad de que las empresas localicen los puntos de producción en donde exista una ventaja geográfica y distribuyan sus productos en mercados que normalmente no podrían solventar el costo de transporte.

El usuario del servicio de transporte de carga puede escoger entre una serie de alternativas definidas según los modos básicos de transporte: marítimo, ferroviario, terrestre, aéreo, fluvial y por ductos. Un servicio de transporte es un conjunto de características de desempeño que se adquieren a determinado precio. El usuario del servicio de transporte elige un servicio o combinación de servicios que le proporcione el mejor balance entre la calidad del servicio ofrecido y el costo de mismo.<sup>4</sup>

Las características básicas de desempeño para todos los servicios de transporte son: precio, rapidez, variabilidad, cobertura, capacidad, frecuencia, continuidad, seguridad, flexibilidad, variedad en los tiempos de carga, y pérdidas y daños.

La calidad del servicio de transporte ofrecido por cada uno de los modos básicos varía dependiendo de las características del mismo. Por esta razón se presenta una evaluación general de los distintos modos básicos de transporte, teniendo como base las principales características de desempeño.

**Tabla 2** Comparación general de los modos básicos de transporte

Factor / Modo	Férreo	Carretero	Aéreo	Marítimo
Flexibilidad	3	1	2	4
Cobertura	3	1	2	4
Rapidez	2	3	1	4
Seguridad	3	4	1	2
Capacidad	2	3	4	1
Tipos de Carga	2	3	4	1
Frecuencia	2	3	1	4
Continuidad	2	3	4	1
Costos	2	3	4	1
Documentación	4	3	1	2

El transporte de carga se divide en dos (2) categorías generales, definidas según las características específicas y los costos operativos de las mismas.

- El transporte de mercancías entre proveedores, productores y centros de distribución, denominado genéricamente *transporte a larga distancia*, o de suministros.
- El transporte desde los centros de distribución hacia las redes de punto de venta y clientes finales, denominado *transporte de distribución física*.

En el transporte de suministros, independiente del modo elegido (terrestre, aéreo, férreo, etc.), los costos están directamente ligados al peso, volumen y distancia a recorrer hasta el punto de destino, de tal forma que cada modo básico tiene asociado un coeficiente.

---

<sup>4</sup> Ibid., p. 235

El transporte de distribución se realiza por medio de camiones de bajo tonelaje. Por su grado de especialización es habitual que se realice con vehículos propios de la empresa encargada de la fabricación de los productos terminados.

El transporte terrestre de suministros y el transporte de distribución física en Colombia, están sometidos a un sistema de restricciones, las cuales deben ser del dominio de todo aquel que preste o demande un servicio de transporte terrestre de carga.

### 1.1. El transporte terrestre de carga en Colombia

Existe un conjunto de restricciones que limitan la operación del transporte terrestre de carga en Colombia, las cuales por lo general han sido definidas por el Ministerio de Transporte. Estas restricciones definen unos lineamientos que deben ser respetados por todo aquel que realice algún proceso de transporte de carga.

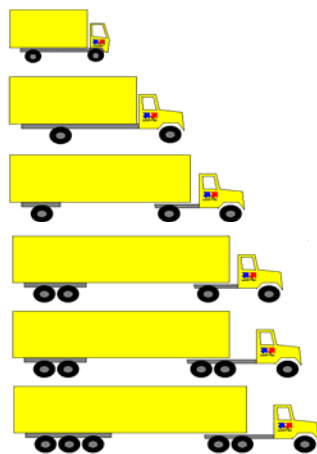
**Tabla 3** Restricciones nacionales del transporte terrestre de carga

RESTRICCIÓN	COBERTURA ACTUAL	OBSERVACIONES
Peso / Volumen	Nacional	Definida para cada tipo de camión.
Horarios de Movilización en Carreteras	Nacional	Horarios de movilización restringida en fines de semana.
Pico y Placa	Bogotá y Medellín	Horarios de no movilización según el día de la semana y el número en que termina la placa del vehículo.
Rutas de Acceso Restringido	Algunos Municipios	Vías de acceso restringido para el transporte de carga, al interior de algunos municipios.

Además de las restricciones definidas por el Ministerio de Transporte, existen restricciones de carácter imprevisto que afectan el proceso de transporte terrestre de carga, como los paros de transporte, los accidentes de tránsito, o los actos delictivos.

La restricción peso / volumen está definida para todos los tipos de vehículos de transporte terrestre de carga disponibles actualmente. Para aclarar esta restricción se presenta la figura 1-1, seguida de la explicación de la misma.

**Figura 1** Restricción peso/volumen



TIPO	PBV	TARA	NETO	VOL
C2p	9	4,5	4,5	20
C2	16	6,5	9,5	40
C2-S1	27	11	16	56
C2-S2	32	12	20	76
C3-S2	48	16	32	76
C3-S3	52	17	35	80

La primera columna corresponde al peso mancomunado del camión y su carga, la segunda corresponde al peso del camión, y la tercera y cuarta indican las restricciones de carga del vehículo expresadas en toneladas y metros cúbicos respectivamente (peso / volumen).

En Colombia existen horarios en los cuales está prohibida la circulación de vehículos de transporte de carga en las carreteras nacionales, la última actualización es la Resolución 666 del 19 de marzo de 2003, la cual prohíbe la circulación por las vías nacionales de camiones de la siguiente forma: sábado de 10:00 de la mañana a 8:00 de la noche y lunes de 8:00 de la mañana a 8:00 de la noche.<sup>5</sup>

La principal restricción de carácter municipal es el pico y placa. Después de la última modificación así quedó la restricción vehicular para el transporte particular.<sup>6</sup>

**Tabla 4** Restricción pico y placa

<b>Día</b>	<b>A partir de julio 14 de 2003</b>	<b>A partir de julio 1 de 2004</b>
Lunes	7-8-9-0	3-4-5-6
Martes	1-2-3-4	7-8-9-0
Miércoles	5-6-7-8	1-2-3-4
Jueves	9-0-1-2	5-6-7-8
Viernes	3-4-5-6	9-0-1-2

Los vehículos particulares que transiten por Bogotá y Medellín, estén o no matriculados en estas ciudades, tendrán el mismo horario de pico y placa:

6:00 a.m. a 9:00 a.m.

4:00 p.m. a 7:00 p.m.

<sup>5</sup> Fuente: [www.mintransporte.gov.co](http://www.mintransporte.gov.co)

<sup>6</sup> Fuente: <http://motor.terra.com.co/CIUDAD/SECTRAN/VIAS/HORPICPLAC/2003-11-06/ARTICULO-WEB-NOTA-INTERIOR-CIUDAD-1311390.html>

La restricción del transporte público es de 5:30 a.m. a 9:00 p.m. La medida opera de lunes a sábado y es rotativa.

## **1.2. Investigación de Operaciones como apoyo a la logística**

La investigación de operaciones (I.O.) puede describirse como un enfoque científico que la toma de decisiones de sistemas organizacionales requiere.

La investigación de operaciones es un enfoque científico de la toma de decisiones. Podemos decir que la IO utiliza un enfoque planeado (método científico) y un grupo interdisciplinario para representar, mediante modelos simbólicos, las relaciones funcionales que se dan en la realidad, lo cual suministra una base cuantitativa para la toma de decisiones. Cuando se aplica alguna herramienta de la I.O., se busca obtener el óptimo resultado del uso de los recursos escasos.

Los criterios de optimización de la investigación de operaciones pueden servir como apoyo a la logística, mediante la creación de modelos matemáticos diseñados para las actividades logísticas clave, como el transporte, manejo de inventarios, y procesamiento de información y pedidos.

La I.O. ofrece metodologías diseñadas como aplicaciones de un problema industrial específico, como es el caso de los problemas especiales de programación lineal: problema del transporte, problema del trasbordo, problema de asignación y problemas multidimensionales; o algunos modelos probabilísticos, como son, la teoría de colas, teoría de inventarios, pronósticos, procesos de decisión markovianos o problemas de simulación.

Algunos problemas industriales no cuentan con una metodología de I.O. diseñada para su estudio, sin embargo, esta ciencia ofrece alternativas como la programación lineal o la programación matemática (análisis de redes, programación dinámica, teoría de juegos, programación entera y programación no lineal); las cuales permiten estudiar y optimizar este tipo de problemas, mediante la elaboración de modelos matemáticos diseñados para este fin.

El diseño de modelos matemáticos de optimización de un problema industrial relacionado con alguna actividad logística, puede ser muy útil al momento de optimizar o estandarizar dicha actividad, o bien, al momento de estructurar una metodología de operación que permita definir mejores prácticas para los procesos relacionados con la actividad logística en cuestión.

## **CAPÍTULO 2: IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS**

### **2. IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS**

Desde el punto de vista del análisis de valor, las actividades desarrolladas en una empresa se pueden clasificar en las que agregan valor al cliente y las que no lo hacen. Existen actividades que no agregan valor al cliente ni al sistema de una empresa, como son la vigilancia o los gastos administrativos; asimismo, hay actividades que no agregan valor al cliente pero sí al sistema, como son el control de inventarios, el transporte, el control de calidad o la gestión financiera, entre otros.

El transporte es una actividad que añade valor al sistema mediante los conceptos logísticos de:

- Lugar: tener los bienes disponibles en dónde el cliente los necesita.
- Tiempo: tener los bienes disponibles cuando el cliente los necesita.

Bajo los argumentos expuestos, el transporte de carga es una actividad que representan muchas oportunidades para las empresas, mediante oportunidad en las entregas, consolidación de la imagen corporativa, reducción de precios, expansión en el mercado, mejoras en competitividad y desarrollo de economías de escala.

El transporte de carga en Colombia representa el 52% de los costos logísticos de las empresas, es un área estratégica del sector empresarial que incide directamente en la determinación del costo final de los productos terminados.<sup>7</sup>

El transporte terrestre presenta el mayor porcentaje de movilización de carga en Colombia, por otra parte, las características especiales del país en cuanto a su topografía, condiciones técnicas de la red vial, largas distancias y seguridad en las carreteras, son factores que encarecen las operaciones de transporte al añadir sobrecostos por concepto de malas prácticas de conducción, accidentalidad, pólizas de seguros, entre otros. Por estas causas los fletes en Colombia son comparativamente más costosos que en muchos otros países donde no convergen tantos factores adversos.<sup>8</sup>

El transporte terrestre de carga tiene las siguientes opciones de servicio, definidas según la propiedad de los equipos de transporte:<sup>9</sup>

- Transporte Propio
- Transporte Alquilado
- Transporte Contratado a Empresas
- Transporte Contratado a Independientes

El transporte propio y alquilado representan un mayor control de la operación y menores costos de flete que el transporte contratado a empresas o a independientes, sin embargo, presentan algunas desventajas respecto a éstos, como son la inversión en equipos e instalaciones, el mantenimiento y las cargas prestacionales.

---

<sup>7</sup> Ibid., p.167

<sup>8</sup> Tomado de la página web del Centro Colombiano de Tecnologías de Transporte (CCTT): [www.cctt.org.co](http://www.cctt.org.co)

<sup>9</sup> Fuente: Material de apoyo de la electiva técnica profesional: Tópicos Especiales de Logística.

La gran diferencia entre el transporte propio y alquilado, y el contratado, radica en que en los dos primeros se tiene un costo periódico (quincenal, mensual, etc.) por la administración de la flota vehicular, la cual tiene una capacidad horaria para el periodo en cuestión; mientras que en el transporte contratado a empresas o independientes se debe pagar una tarifa origen - destino. La suma de las horas de operación y los tiempos muertos de los equipos propios y alquilados es igual a la capacidad horaria disponible.

Dado que los costos de transporte normalmente se hallan entre uno y dos tercios de los costos logísticos totales, mejorar la eficiencia mediante la máxima utilización del equipo de transporte y de su personal es una preocupación importante. Un problema frecuente en la toma de decisiones es reducir el costo de transporte y mejorar el servicio al cliente encontrando los mejores caminos que debería seguir un vehículo en la red de carreteras, que minimicen el tiempo o la distancia.

Una vez definidas las rutas a seguir, la asignación de los equipos propios y alquilados debe estrechar la brecha entre las horas de operación y la capacidad horaria disponible, reduciendo la utilización de los servicios del contratista; de esta forma, una empresa estaría propendiendo por la minimización del costo total de transporte.

La empresa ERCO S.A. se dedica a la producción de insumos para la industria agrícola, esta empresa cuenta con dos plantas de producción; la planta principal, denominada planta 1, está ubicada en Tauramena, Casanare. La otra planta, conocida como planta 2, es secundaria y está ubicada en Cota, Cundinamarca.

*Nota:* ERCO S.A., planta 1 y planta 2 son nombres ficticios de la empresa sobre la cual se centrará el desarrollo del proyecto; solicitados por esta misma debido a motivos de confidencialidad. El sector al que pertenece la empresa y la ubicación de las plantas y proveedores, también han sido modificados.

ERCO S.A. cuenta con equipos propios y alquilados para el desarrollo del proceso de transporte terrestre de carga. La movilización de mercancías que no alcanza a ser cubierta por los equipos propios y alquilados es realizada por una empresa contratista. Actualmente, se están presentando altos índices de tiempos muertos, teniendo como resultado una baja tasa de utilización de los equipos propios y alquilados, y por ende, un elevado índice de utilización de los servicios del contratista. También se están presentando numerosos viajes vacíos, es decir, no compensados.

La empresa está interesada en buscar una solución para el problema de transporte, principalmente, debido a los altos costos operativos en que ha estado incurriendo. La metodología propuesta es el diseño de dos estrategias posibles para la solución de este problema, las cuales deben ser evaluadas por una herramienta diseñada para este fin, debido a que en términos de inversión, la empresa debe optar por una sola de las dos estrategias.

En este orden de ideas, el desarrollo de un modelo de optimización del costo de transporte, orientado a la asignación de la flota vehicular, que permita maximizar la utilización de los equipos disponibles (propios y alquilados) y minimizar la contratación de transporte, sería una herramienta útil para elevar la competitividad del proceso de transporte de carga en la empresa ERCO S.A.

## **2.1. Objetivo General**

Diseñar una herramienta que permita optimizar el costo total de transporte de materias primas, productos en proceso y productos terminados en la empresa ERCO S.A.

## **2.2. Objetivos Específicos**

1. Desarrollar un estudio detallado del problema de transporte de carga en la empresa ERCO S.A.
2. Estructurar las posibles estrategias de acción, definiendo todos los cambios que representarían respecto al proceso de transporte de carga desarrollado actualmente.
3. Definir las variables de interés y desarrollar una metodología de manipulación de las mismas.
4. Formular dos modelos generales de optimización del costo total de transporte, diseñados para cada estrategia, mediante la técnica de programación lineal entera pura.
5. Aplicar un análisis de sensibilidad a los modelos diseñados y evaluar los resultados obtenidos.

## **2.3. Descripción de la Investigación**

El propósito de la investigación consiste en el diseño de dos modelos de optimización del costo de transporte de la empresa ERCO S.A., debido a que la empresa pretende diseñar dos posibles estrategias de solución del problema de transporte, es decir, un modelo para cada estrategia.

La técnica a utilizar en la formulación de los modelos es la *programación lineal entera pura*, donde la función objetivo es la minimización del costo total de transporte de carga. Estos modelos deben tener en cuenta un número considerable de factores que afectan el proceso de transporte de carga, para que su estructura y resultados sean consistentes.

La principal función de los modelos matemáticos es servir de apoyo a quien toma decisiones. En este caso, el responsable de la decisión de inversión para solucionar el problema de transporte. Una vez tomada la decisión de inversión, los modelos sirven de soporte a la decisión del encargado de la asignación de la flota vehicular de la empresa.

La metodología a seguir en el desarrollo de la investigación consta de cinco (5) etapas; definidas según la naturaleza de la información a obtener y procesar. Las etapas de la investigación coinciden con los objetivos específicos planteados para el proyecto, es decir, la etapa 1 coincide con el objetivo específico 1, y así sucesivamente.

- **Etapas 1:** Descripción del problema de transporte
- **Etapas 2:** Estructuración de estrategias
- **Etapas 3:** Manipulación de variables
- **Etapas 4:** Diseño de modelos
- **Etapas 5:** Evaluación de resultados

La etapa 1 consiste en una descripción detallada del proceso de transporte de carga en ERCO S.A. En esta etapa se presenta toda la información que puede ser útil para explicar el problema de transporte en la empresa. Esta etapa será desarrollada en el capítulo 3.

En la etapa 2 se procede con el planteamiento del problema de transporte en la empresa, mediante el estudio de las dos estrategias logísticas propuestas, definiendo las características principales de éstas y evaluando los cambios que representarían para el proceso actual de transporte. Esta etapa se desarrollará en el capítulo 4.

Los modelos de optimización del costo total de transporte deben incluir el mayor número posible de factores que caracterizan este proceso, por lo tanto, es necesario definir una metodología de manipulación de estos factores, para buscar una garantía de que los modelos son buenas representaciones del proceso real de transporte de carga. Esta metodología de manipulación se desarrollará en la etapa 3, la cual corresponde a la primera parte del capítulo 5.

Una vez definida la metodología de formulación de los factores característicos del proceso de transporte, es necesario proceder con la etapa 4, la cual consiste en el desarrollo de los modelos matemáticos. Se desarrollará un modelo para cada estrategia logística. Esta etapa corresponde a la segunda parte del capítulo 5.

La etapa final de la investigación es la etapa 6, en esta etapa se presentarán los resultados obtenidos y se aplicará el respectivo análisis de sensibilidad a los modelos desarrollados, según los intereses de la empresa.

## **CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA EMPRESA ERCO S.A.**

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA EMPRESA ERCO S.A.**

Para describir con claridad el problema de transporte de carga en la empresa ERCO S.A., es necesario explicar el funcionamiento de la cadena de suministro; definiendo los integrantes de la misma, los vehículos y contenedores disponibles, las opciones de servicio, los tipos de embalaje, y en general, toda la información de interés.

La empresa ERCO S.A. cuenta con dos plantas de producción; la planta principal, denominada Planta 1, se encuentra ubicada en Tauramena, Casanare. La otra planta se clasifica como secundaria y se conoce como Planta 2; esta planta se encuentra ubicada en Cota, Cundinamarca.

El proceso de producción de la empresa consta de cuatro etapas. La planta 1 desarrolla las cuatro etapas del proceso, mientras que la planta 2, únicamente las dos últimas, por lo tanto requiere el suministro del producto en proceso resultante de las etapas 1 y 2, el cual es suministrado por la planta 1. Este producto se conoce como producto intermedio (PI).

La gama de productos ofrecida al mercado consiste en dos variedades de un mismo producto terminado, las cuales se conocen como producto terminado 1 (PT1) y producto terminado 2 (PT2). El PT1 se empaca en bultos de cincuenta

(50) kilogramos, mientras que el PT2 se despacha a granel en camiones C3 – S2 con contenedor tipo tanque (Ver figura 1).

El modo básico de transporte escogido para la distribución de materias primas, productos en proceso y productos terminados, es el transporte terrestre (carretero) de carga; para el desarrollo de este proceso, la empresa cuenta con camiones C3 – S2 y C3 - S3, con los siguientes tipos de contenedores:<sup>10</sup>

**Tabla 5** Contenedores de la empresa

TIPO DE CAMIÓN	CONTENEDOR	DESCRIPCIÓN
C3 – S2	Tanque	Contenedor con cuerpo tolva en acero de secciones cilíndricas y conos truncados. Utilizado para el transporte de sólidos altamente finos, dotado de un sistema de entrada de aire para descargue , y un sistema de control de la presión al interior del contenedor.
	Volco	Cuerpo del contenedor tipo bañera con esquinas redondas. Con lona remobile en la parte superior, cargue y descargue por la parte superior.
	Plataforma	Contenedor de superficie plana sin paredes laterales. Especial para carga pesada y sobredimensionada. No apto para transportes internos.
C3 – S3	Multipropósito	Cuerpo del contenedor tipo cajón con las esquinas rectas. Con lona remobile en la parte superior. Especial para carga sobrealta, cargue por la parte superior o cargue por la puerta con testeras abiertas.

La empresa cuenta con vehículos propios y alquilados para el desarrollo del proceso de transporte de carga, debido a que estos vehículos no tienen la capacidad suficiente para el cumplimiento de la totalidad del proceso, es necesario recurrir a una empresa contratista de vehículos de transporte. La tabla 6 presenta el número de vehículos propios y alquilados disponibles actualmente.

<sup>10</sup> Fuente: [www.incafruehauf.com.co](http://www.incafruehauf.com.co)

**Tabla 6** Vehículos disponibles

Contenedor	Vehículos Disponibles	
	Propios	Alquilados
Tanque	2	1
Volco	4	2
Plataforma	2	2
Multipropósito	5	2

### 3.1. Red de distribución

La cadena de suministro de la empresa ERCO S.A. en la actualidad, está conformada por las dos plantas de producción, los proveedores, un centro de distribución ubicado en la zona industrial de Cazucá en Bogotá, y los consumidores finales. El centro de distribución está en Bogotá, debido a que aproximadamente un 85% de los clientes de la empresa se encuentran ubicados en esta ciudad.

La gama de materias primas demandadas por la empresa se extiende a un total de diez (10) variedades, suministradas por siete (7) proveedores.

Para el desarrollo de las etapas productivas 1 y 2, la planta requiere de tres materias primas, definidas como:

- Materia Prima 1 (MP1)
- Materia Prima 2 (MP2)
- Materia Prima 3 (MP3)

Estas tres materias primas corresponden al 40% de las materias primas movilizadas, sin embargo, representan el 65% de los costos de materias primas. Además, son necesarias para la fabricación del PI, insumo principal de la planta 2. Por estas razones, el problema de transporte que se abordará más adelante se centrará en la red de distribución compuesta por los proveedores de MP1, MP2 y MP3, las plantas de la empresa y el centro de distribución actual.

Los proveedores de las materias primas anteriormente mencionadas se conocen como proveedor A, proveedor B y proveedor C. A continuación se presenta la oferta de materias primas de estos proveedores.

**Tabla 7** Proveedores de la empresa

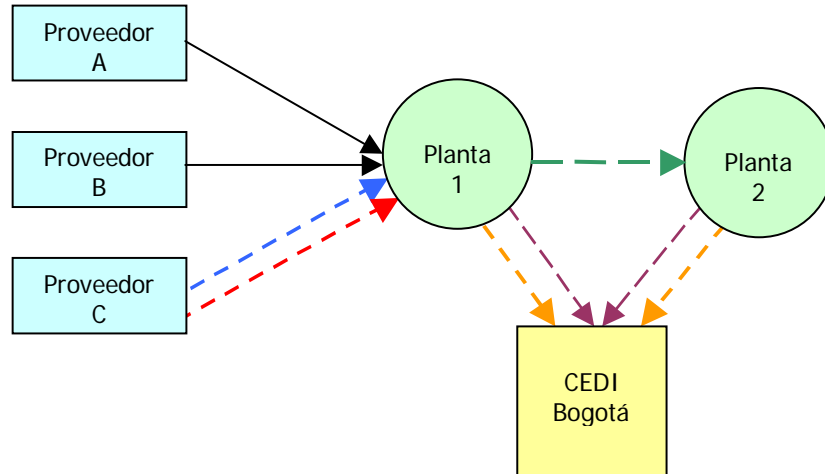
Proveedor	Materias primas disponibles	Ubicación
A	MP1	San José, Caldas
B	MP1	Tapias, Caldas
C	MP2 MP3	La Unión, Caldas

La red de distribución sobre la cual se planteará el problema de transporte, está conformada de la siguiente forma.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> El diseño de la red no corresponde a la ubicación geográfica de los nodos, ni a las características de las rutas; es netamente ilustrativo.

**Figura 2** Red de distribución de ERCO S.A.



*Convenciones:*

- MP1
- - - MP2
- . - . MP3
- . - . PI
- . - . PT1
- . - . PT2

Una completa descripción de la red de distribución debe considerar variables como la capacidad de carga, embalaje, rutas, tiempos de ruta, costos de transporte (costos de flete), cargas de compensación, entre otras.

La capacidad de carga está definida para cada tipo de contenedor. Esta información fue obtenida con base a los datos de toneladas movilizadas por viaje, a lo largo de los años 2003 y 2004.

**Tabla 8** Capacidad de carga de los contenedores de la empresa

Contenedor	Capacidad de carga
Tanque	32 toneladas
Volco	32 toneladas
Plataforma	32 toneladas
Multipropósito	34 toneladas

Las características de las mercancías distribuidas (materias primas, productos en proceso, productos terminados) no permiten que éstas sean movilizadas en cualquier tipo de contenedor. Por esta razón es necesario definir los contenedores en que pueden moverse las diferentes mercancías.

**Tabla 9** Embalaje de materias primas, productos en proceso y productos terminados

Mercancía	Embalaje	Contenedores en que puede moverse
MP1	Granel	Volco Multipropósito
MP2	Granel	Granel: Volco Multipropósito
MP3		
PI	Granel	Volco Multipropósito
PT1	Bultos de 50 Kg.	Plataforma Multipropósito
PT2	Granel	Tanque

El PT2 es un producto que se despacha a granel en contenedores tipo tanque, totalmente cerrados. Este tipo de embalaje garantiza la protección de la mercancía movilizada contra la intemperie. El resto de las mercancías movilizadas, luego de ser cargadas en los vehículos correspondientes, se debe someter a un proceso de cobertura con una superficie de lona, con el fin de actuar a manera de techo, y así, proteger la carga contra las condiciones climáticas.

Para efectos de carga, el PT1, el cual es envasado en bultos de 50 Kg., es despachado en estibas de doble ataque (el montacargas puede introducir el

tenedor de cargue por cualquiera de las aristas de la estiba), de superficie de 80 X 97 centímetros.

### **3.1.1. Costos de transporte**

Los costos de transporte varían de acuerdo a factores como la calidad de la vía, los peajes, la carga transportada, las actividades de cargue y descargue, la longitud del recorrido y principalmente, la clasificación de los vehículos según la propiedad de los mismos. En el caso de los equipos propios y alquilados, hablamos de costo de transporte, debido a que la empresa no debe pagar una tarifa por la movilización de mercancías, pero sí incurre en un costo operativo relacionado con el desarrollo de esta labor. Para los equipos del contratista, hablamos de costos de flete, debido a que en este caso hay que pagar una tarifa origen – destino por la movilización de mercancías; esta tarifa se rige por la tabla de fletes del Ministerio de Transporte en Colombia.<sup>12</sup>

El transporte con equipos propios y alquilados presenta un mayor control de la operación y menores costos operativos que el transporte contratado a empresas (contratista) o a independientes, sin embargo, presenta algunas desventajas respecto a éstos, como son la inversión en equipos e instalaciones, el mantenimiento y las cargas prestacionales.

Los equipos propios presentan los costos más bajos de transporte, seguidos por los alquilados, debido a que es necesario pagar el costo de alquiler de estos equipos. La opción más costosa es el servicio de transporte de mercancías

---

<sup>12</sup> Ver Anexo A: Tabla de Fletes del Ministerio de Transporte

prestado por el contratista, el cual se rige por la tabla de fletes del Ministerio de Transporte.

La gran diferencia entre el transporte propio y alquilado, y el contratado, radica en que en los dos primeros se tiene un costo periódico (quincenal, mensual, etc.) por la administración de la flota vehicular, la cual tiene una capacidad horaria para el periodo en cuestión. La suma de las horas de operación y los tiempos muertos es igual a la capacidad horaria disponible.

La programación de los equipos propios y alquilados debe estrechar la brecha entre las horas de operación y la capacidad horaria disponible, garantizando la minimización del costo total de transporte.

En el servicio de transporte prestado por el contratista, se paga una tarifa origen – destino, por la movilización de una mercancía determinada. En esta opción, la empresa no debe preocuparse por tiempos muertos o viajes vacíos. La utilización de esta alternativa de transporte, eleva considerablemente el costo total de transporte.

### **3.1.2. Cargas de compensación**

Cuando un vehículo efectúa una entrega y tiene la opción de llevar alguna otra carga en el viaje de regreso al punto de dónde partió, se dice que ese vehículo está transportando una carga de compensación.

Las cargas de compensación son un elemento importante en un proceso de transporte terrestre de carga, debido a que permiten reducir los costos operativos,

garantizar el cumplimiento de la demanda del punto de origen, además de disminuir tiempos muertos y viajes vacíos.

El PT2 presenta una restricción particular en cuanto a las cargas de compensación, debido a que la naturaleza de este producto, sumada a las características fisicoquímicas, y de embalaje de las materias primas y productos de la empresa, excluye cualquier alternativa de compensación.

Las demás mercancías movilizadas permitirían movilizar cargas de compensación, sin embargo, el sistema de distribución actual de la empresa no ofrece muchas alternativas para este fin. Con motivo de aclarar este argumento, se presenta el listado de rutas del proceso actual de transporte de carga en la empresa ERCO S.A.

### **3.1.3. Rutas**

El complejo de rutas que conforman la red de distribución no sólo está compuesto por las rutas presentadas en la figura 2-1, también incluye los viajes vacíos que se dirijan hacia proveedores o plantas de la empresa, después de haber entregado su respectiva carga. También existe la posibilidad de que los vehículos se dirijan vacíos desde las plantas de la empresa hasta los proveedores. El listado de rutas, junto con la respectiva información de interés, se puede apreciar a en la tabla 10.

**Tabla 10** Listado actual de rutas

Cód.	RUTA		Tiempo de ruta (horas)	Mercancía (s) movilizada (s)	Posible carga de compensación
	Origen	Destino			
01	Planta 1	CEDI Bogotá	7	PT1, PT2	Ninguna
02	Planta 1	Planta 2	8	PI	PT1
03	Planta 2	CEDI Bogotá	3	PT1, PT2	Ninguna
04	Proveedor A	Planta 1	10	MP1	PI, PT1
05	Proveedor B	Planta 1	12	MP1	PI, PT1
06	Proveedor C	Planta 1	15	MP2, MP3	PI, PT1
07	Planta 1	Proveedor A	7	Vacío	MP1
08	Planta 1	Proveedor B	9	Vacío	MP1
09	Planta 1	Proveedor C	11	Vacío	MP2, MP3
10	Planta 2	Proveedor A	4	Vacío	MP1
11	Planta 2	Proveedor B	6	Vacío	MP1
12	Planta 2	Proveedor C	9	Vacío	MP2, MP3
13	Planta 2	Planta 1	4	Vacío	PI, PT1
14	CEDI Bogotá	Planta 1	5	Vacío	PI, PT1
15	CEDI Bogotá	Planta 2	2	Vacío	PT1
16	CEDI Bogotá	Proveedor A	6	Vacío	MP1
17	CEDI Bogotá	Proveedor B	8	Vacío	MP1
18	CEDI Bogotá	Proveedor C	10	Vacío	MP2, MP3

Las primeras seis (6) rutas corresponden a la distribución de materias primas, productos en proceso y productos terminados; de la ruta número siete (7) en adelante, se presentan las diferentes opciones de viajes vacíos, indicando todas las posibilidades para los vehículos propios y alquilados de la empresa recojan materias primas para suplir la demanda de la planta 1.

### 3.2. Problema de transporte

El transporte de carga en la empresa presenta serias falencias que afectan la efectividad de este proceso e inciden directamente en el costo total de transporte.

Los principales inconvenientes son los elevados índices de tiempos muertos, viajes vacíos y contratación de equipos de transporte; éste último es el que tiene la mayor incidencia en el costo total.

El problema de transporte se centra en la distribución de suministros entre plantas, proveedores y el centro de distribución actual, y no, en la distribución física de producto terminado a los clientes. Esto se debe a que la primera categoría tiene mayor incidencia en el funcionamiento de la empresa y el cumplimiento de la demanda, y los vehículos de transporte de suministros presentan un costo operativo muy superior a los utilizados para la distribución física.

Según estudios previos desarrollados por la empresa, las causas de mayor incidencia en el problema de transporte son:

- El paso por Bogotá
- Falta de alternativas de compensación
- **Ausencia de una metodología de programación de la flota vehicular**

El paso por Bogotá es obligatorio en todas las rutas del proceso de transporte de carga, con excepción de aquellas dónde los vehículos se dirigen vacíos desde la planta 2 hacia alguno de los tres (3) proveedores. El paso por Bogotá incide notablemente en el problema de transporte, por concepto de tiempos muertos y siniestralidad. Los tiempos muertos se deben al pico y placa, las rutas de acceso restringido y la congestión vehicular que caracteriza esta ciudad, sumado a las

largas distancias que se deben recorrer. En cuanto a la siniestralidad, con base en las estadísticas de la empresa, el 95% de los accidentes son resultado de entrada a Bogotá.

El CEDI Bogotá está diseñado para operar las 24 horas diarias, pero la operación se reduce a un intervalo de 16 a 17 horas diarias, debido a que los vehículos no pueden entrar y salir libremente, como resultado de las restricciones que caracterizan esta ciudad.

Las restricciones definidas por el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá impiden que el centro de distribución pueda mantener un patio de materias primas. Esta falta de alternativas de compensación, obliga a los vehículos que llevan PT1 a devolverse vacíos a las respectivas plantas, o bien, desplazarse hacia los proveedores para recoger materias primas.

La planta 2 no tiene espacio disponible para el almacenamiento de materias primas, por lo tanto, tampoco existe carga de compensación para los viajes que llevan PI a esta planta.

Actualmente, la empresa no cuenta con una metodología para la asignación de la flota vehicular, por esta razón se están presentando largos recorridos en vacío, tiempos muertos y otros factores que aumentan la brecha entre las horas reales de operación de la flota vehicular y la capacidad horaria disponible. La falta de metodología en la programación de la flota vehicular se debe a que la empresa no está propendiendo por la efectividad del proceso de transporte de carga.

Los errores más comunes en la asignación de la flota vehicular son la programación de despachos en horas que implican la llegada a Bogotá en el horario de pico y placa, la alta variabilidad en los tiempos de ruta, el retorno de

vehículos vacíos a las plantas y los altos tiempos empleados en las actividades de transferencia de materiales (cargue, descargue, carpe, descarpe, pesaje, etc.).

## **CAPÍTULO 4: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Considerando el efecto que presenta el problema de transporte de carga en el costo operativo total de dicho proceso, la empresa ha diseñado dos posibles estrategias para reducir el impacto de este problema.

Las estrategias han sido diseñadas con el mismo fin: aumentar la efectividad del proceso de transporte de carga en ERCO S.A., considerando la totalidad de factores anteriormente mencionados. El objetivo general de las dos estrategias es minimizar el costo total de transporte de carga.

La primera estrategia propone continuar con el centro de distribución actual e implementar una alternativa de embalaje para el transporte de materias primas.

La segunda estrategia propone la desaparición del centro de distribución actual y la creación de un centro de acopio ubicado al suroriente de Bogotá, por fuera del perímetro de restricción del pico y placa, y en general, de todas las restricciones que implica el paso por esta ciudad. El centro de acopio tendría la posibilidad de almacenar materias primas, productos en proceso y productos terminados.

A continuación se procederá con el planteamiento de las dos estrategias logísticas propuestas por la empresa.

#### 4.1. Estrategia 1

La primera estrategia consiste en la implementación de una opción adicional de embalaje. Esta opción son los Big Bags, los cuales son envases de polipropileno con capacidades de 1, 1.5, ó 2 toneladas. Las características fisicoquímicas (dureza, fluidez, compactación, etc.) del MP2 y el MP3 permite que sean envasados en Big Bags, a diferencia del MP1, el cual sólo puede ser despachado a granel.<sup>13</sup>

La estrategia 1 está diseñada para atacar la falta de alternativas de compensación, la cual es una de las tres (3) causas principales del problema de transporte.

Los big bags pueden moverse en contenedores tipo plataforma y multipropósito. Para efectos de carga, cada big bag debe dotarse de una estiba que lo soporte.

Las modificaciones en las opciones de embalaje se pueden apreciar en la tabla 11:

**Tabla 11** Nuevas condiciones de embalaje

Mercancía	Embalaje	Contenedores en que puede moverse
MP1	Granel	Volco, multipropósito
MP2	Granel, big bags	Granel: Volco, multipropósito Big bags: Plataforma, multipropósito
MP3		
PI	Granel	Volco, multipropósito
PT1	Bultos de 50 Kg.	Plataforma, multipropósito
PT2	Granel	Tanque

<sup>13</sup> Para mayor información, ver Anexo F: Big Bags.

El espacio disponible en el centro de distribución actual no permite el almacenamiento de big bags, sin embargo, existe la opción de que las plataformas que llegan a este punto, se dirijan vacías hasta el proveedor C y recojan big bags de MP2 y MP3 para luego llevarlos a la planta 1.

El uso de los big bags permitiría aumentar la utilización de los contenedores tipo plataforma, mediante la inclusión de una nueva variedad de mercancías a movilizar, debido a que en la actualidad estos contenedores solamente pueden transportar PT1, condición que reduce notablemente su campo de acción.

En este orden de ideas, la estrategia 1 tendría solamente un (1) objetivo específico. El objetivo específico en este caso, sería optimizar la utilización de las plataformas propias y alquiladas.

Esta estrategia no implica la creación de rutas nuevas, simplemente se incluye una opción de compensación para el PT1 movilizado en plataformas, sin embargo el listado de rutas se modificaría debido a que las plataformas podrían moverse en todas las rutas que tengan como destino el proveedor C. El nuevo listado de rutas se puede apreciar en la tabla 12.

**Tabla 12** Listado de rutas de la estrategia 1

Cód.	RUTA		t <sub>ruta</sub> (horas)	Mercancía(s) movilizada(s)	Posibles contenedores	Alternativas de compensación
	Origen	Destino				
01	Planta 1	CEDI B/tá	7	PT1, PT2	PT2: tanque PT1: Plataforma, multipropósito	Ninguna
02	Planta 1	Planta 2	8	PI	Volco, multipropósito	PT1
03	Planta 2	CEDI B/tá	3	PT1, PT2	PT2: tanque PT1: Plataforma, multipropósito	Ninguna
04	Proveedor A	Planta 1	10	MP1	Volco, multipropósito	PI, PT1
05	Proveedor B	Planta 1	12	MP1	Volco, multipropósito	PI, PT1

Cód.	RUTA		t <sub>ruta</sub> (horas)	Mercancía(s) movilizada(s)	Posibles contenedores	Alternativas de compensación
	Origen	Destino				
06	Proveedor C	Planta 1	15	MP2, MP3 (granel, big bags)	Volco, multipropósito, plataforma ( big bags)	PI, PT1
07	Planta 1	Proveedor A	7	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
08	Planta 1	Proveedor B	9	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
09	Planta 1	Proveedor C	11	Vacío	Volco, multipropósito, plataforma	MP2, MP3 (granel, big bags)
10	Planta 2	Proveedor A	4	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
11	Planta 2	Proveedor B	6	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
12	Planta 2	Proveedor C	9	Vacío	Volco, multipropósito, plataforma	MP2, MP3 (granel, big bags)
13	Planta 2	Planta 1	4	Vacío	Volco, multipropósito	PI, PT1
14	CEDI B/tá	Planta 1	5	Vacío	Plataforma, multipropósito	PI (multipropósito), PT1
15	CEDI B/tá	Planta 2	2	Vacío	Plataforma, multipropósito	PT1
16	CEDI B/tá	Proveedor A	6	Vacío	Multipropósito	MP1
17	CEDI B/tá	Proveedor B	8	Vacío	Multipropósito	MP1
18	CEDI B/tá	Proveedor C	10	Vacío	Multipropósito, plataforma	MP2, MP3 (granel, big bags)

## 4.2. Estrategia 2

Esta estrategia está diseñada para atacar las tres (3) causas principales del problema de transporte:

- El paso por Bogotá
- Falta de alternativas de compensación
- Inadecuada programación de la flota vehicular

La alternativa de utilización de los Big Bags, propuesta en la estrategia 1, será contemplada en esta estrategia.

La estrategia 2 consiste en diseñar un centro de acopio (C.A.) ubicado al suroriente de Bogotá, el cual permitiría operar por fuera del perímetro de restricción del pico y placa, ofrecer alternativas de compensación, reducir tiempos de ruta y contribuir a una mejor programación de la flota vehicular.

El C.A. permitiría almacenar las siguientes mercancías:

**Tabla 13** Almacenamientos en el C.A.

<b>Mercancía</b>	<b>Embalaje</b>	<b>Almacenamiento</b>
MP1	Granel	Patio de materias primas
MP2	Granel, big bags	Patio de materias primas, apilamiento de big bags
MP3		
PI	Granel	Patio de materias primas
PT1	Bultos 50 Kg.	Apilamiento de estibas

El C.A. no contará con un silo de almacenamiento de PT2, por lo tanto este producto será despachado directamente a los clientes en Bogotá.

El desarrollo del C.A. representaría costos adicionales por concepto de arrendamiento y adecuación del lote (actualmente, la empresa no está interesada en comprarlo). No se incurriría en costos operativos adicionales, debido a que el C.A. absorbería la operación del CEDI Bogotá, y por tanto, sus costos operativos. En caso de que se opte por el C.A., el CEDI Bogotá desaparecería por completo.

Los objetivos específicos de esta estrategia están definidos por las mejoras que se espera obtener con la implementación del C.A., el cual representaría más de una mejora en el proceso de transporte de carga en la empresa, por concepto de:

- Liberación de flota
- Reducción de siniestralidad
- Cargas de compensación
- Operación las 24 horas diarias

La reducción de tiempos de ruta, debido a la mayor cercanía la planta 1 y la reducción de tiempos muertos producto de las restricciones características de Bogotá, contribuyen a una mayor utilización de los equipos propios y alquilados disponibles; reduciendo así la contratación de equipos de transporte. Este fenómeno se conoce como liberación de flota.

La gran mayoría de los accidentes en la empresa son producto de la entrada a Bogotá. Al operar por fuera de esta ciudad, se ataca directamente la causa de este problema, reduciendo considerablemente el riesgo de accidentes, con sus respectivas consecuencias en el proceso de distribución de suministros.

La presencia de alternativas de compensación, más cerca de la planta 1, facilita el cumplimiento de las demandas de esta planta, además de contribuir a una mayor utilización de los equipos propios y alquilados.

La operación por fuera del perímetro de restricción del pico y placa, y en general, por fuera de Bogotá; atacarían directamente las causas de la subutilización del centro de distribución actual.

La implementación del C.A. modificaría notablemente el listado de rutas, debido a la inclusión de nuevas rutas y la desaparición de otras. A continuación se presenta el listado de rutas correspondiente a la estrategia 2.

**Tabla 14** Listado de rutas de la estrategia 2

Cód.	RUTA		t <sub>ruta</sub> (horas)	Mercancía (s) movilizada (s)	Posibles contenedores	Alternativas de compensación
	Origen	Destino				
01	Planta 1	Bogotá	7	PT1, PT2	PT2: Tanque PT1: Plataforma, multipropósito	Ninguna
02	Planta 1	C.A.	4	PI, PT1	PI: Volco, multipropósito PT1: Plataforma, multipropósito	MP1 (granel), MP2, MP3 (granel, big bags)
03	Planta 1	Planta 2	8	PI	Volco, multipropósito	PT1
04	Planta 2	Bogotá	3	PT1, PT2	PT2: Tanque PT1: Plataforma, multipropósito	Ninguna
05	Planta 2	C.A.	6 (cargado) 4 (vacío)	PT1	Plataforma, multipropósito	PI
06	Proveedor A	Planta 1	10	MP1	Volco, multipropósito	PI, PT1
07	Proveedor B	Planta 1	12	MP1	Volco, multipropósito	PI, PT1
08	Proveedor C	Planta 1	15	MP2, MP3 (granel, big bags)	Volco, multipropósito, plataforma (big bags)	PI, PT1
09	Proveedor A	C.A.	6	MP1	Volco, multipropósito	MP1, MP2, MP3, PI
10	Proveedor B	C.A.	7	MP1	Volco, multipropósito	MP1, MP2, MP3, PI
11	Proveedor C	C.A.	10	MP2, MP3 (granel, big bags)	Volco, multipropósito, plataforma (big bags)	MP1, MP2, MP3, PI
12	C.A.	Planta 1	4	MP1 (granel), MP2, MP3 (granel, big bags)	Volco, multipropósito, plataforma (big bags)	PI, PT1
13	C.A.	Planta 2	6	PI	Volco, multipropósito	PT1
14	C.A.	Proveedor A	5	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
15	C.A.	Proveedor B	6	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
16	C.A.	Proveedor C	8	Vacío	Volco, multipropósito, plataforma (big bags)	MP2, MP3 (granel, big bags)
17	Bogotá	C.A.	2	Vacío	Plataforma, multipropósito	PI, MP1, MP2, MP3
18	Bogotá	Planta 1	5	Vacío	Plataforma, multipropósito	PI, PT1

Cód.	RUTA		$t_{ruta}$ (horas)	Mercancía (s) movilizada (s)	Posibles contenedores	Alternativas de compensación
	Origen	Destino				
19	Bogotá	Planta 2	2	Vacío	Plataforma, multipropósito	PT1
20	Bogotá	Proveedor A	6	Vacío	Multipropósito	MP1
21	Bogotá	Proveedor B	8	Vacío	Multipropósito	MP1
22	Bogotá	Proveedor C	10	Vacío	Plataforma, multipropósito	MP2, MP3 (granel, big bags)
23	Planta 1	Proveedor A	7	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
24	Planta 1	Proveedor B	9	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
25	Planta 1	Proveedor C	11	Vacío	Volco, multipropósito, plataforma (big bags)	MP2, MP3 (granel, big bags)
26	Planta 2	Proveedor A	4	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
27	Planta 2	Proveedor B	6	Vacío	Volco, multipropósito	MP1
28	Planta 2	Proveedor C	7	Vacío	Volco, multipropósito, plataforma (big bags)	MP2, MP3 (granel, big bags)
29	Planta 2	Planta 1	5	Vacío	Volco, multipropósito	PI, PT1

### 4.3. Modelos matemáticos propuestos

La empresa propone el desarrollo de modelos matemáticos como soporte en el proceso de selección de la estrategia logística a implementar. Deben desarrollarse dos (2) modelos matemáticos de optimización del costo total de transporte de suministros, uno para cada estrategia logística.

El modelo matemático 1 corresponde a la estrategia logística 1, la cual propone continuar con el centro de distribución actual, mientras que el modelo matemático 2 está diseñado para la estrategia 2, la cual sugiere la desaparición de centro de distribución actual y la creación de un centro de acopio ubicado al suroriente de

Bogotá, con el fin de permitir la operación por fuera del perímetro de acción de las restricciones inherentes a esta ciudad.

Los modelos matemáticos deben encargarse de la asignación de la flota vehicular, que minimice el costo total de transporte y satisfaga la demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados. Estos modelos deben considerar factores como:

- Tipo de contenedor
- Embalaje
- Cargas de compensación
- Rutas
- Tiempos de ruta
- Peso / Volumen
- Mercancías movilizadas en cada tipo de camión
- Clasificación según la propiedad de los equipos de transporte
- Viajes vacíos (equipos propios y alquilados)
- Demanda de materias primas (toneladas)
- Oferta de materias primas
- Demanda de productos en proceso
- Oferta de productos en proceso
- Demanda de productos terminados
- Oferta de productos terminados
- Costos de flete
- Disponibilidad de flota (horas / mes)
- Almacenamientos (C.A.)

La metodología propuesta para el desarrollo de los modelos matemáticos es la programación lineal. Todo problema de programación lineal tiene dos importantes rasgos: una función objetivo que se va a maximizar o minimizar y restricciones.<sup>14</sup>

El adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales.

La programación lineal proporciona un ejemplo de lo que se llama un *modelo de toma de decisiones restringidas*, también llamado *modelo de optimización restringida*, el cual está definido como: el problema de asignar recursos limitados de modo que se optimice un objetivo de interés. La expresión “recursos limitados” se refiere a recursos que están sujetos a restricciones.

En programación lineal, se llama solución a cualquier conjunto de valores específicos para las variables de decisión, sin importar si es una posibilidad deseable o al menos permitida. Los diferentes tipos de soluciones se identifican mediante un adjetivo apropiado.

Una solución factible es una solución para la que todas las restricciones se satisfacen. Dado que existen soluciones factibles, la meta de la programación lineal es encontrar la mejor, medida según el valor de la función objetivo en el modelo.

Una solución óptima es una solución factible que lleva al valor más favorable de la función objetivo. El valor más favorable significa el valor más grande o pequeño, dependiendo de si el objetivo es maximizar o minimizar. Entonces, una solución óptima maximiza/minimiza la función objetivo sobre toda la región factible.

---

<sup>14</sup> GOULD F.J. y EPPEN G.D., Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa, Prentice – Hall, México, 1987

Es necesario hacer hincapié en las suposiciones de programación lineal para que sea más sencillo evaluar si esta técnica es adecuada en una situación dada. Las suposiciones de programación lineal son:

- Proporcionalidad
- Aditividad
- Divisibilidad
- Certidumbre

La *proporcionalidad* es una suposición sobre las actividades individuales que se consideran independientes de las otras. En particular, esto significa que no hay cargos extras debido al inicio de la actividad (costos fijos) y que la proporcionalidad se cumple en todo el rango de niveles de actividad.

La condición de proporcionalidad no es suficiente para garantizar que la función objetivo y las restricciones sean lineales. La *aditividad* requiere que, dados cualesquiera niveles de las actividades  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , la medida total de efectividad y el consumo de total de cada recurso debe ser igual a la suma de las cantidades correspondientes generadas por cada actividad que se lleva a cabo.

Algunas variables de decisión sólo tienen significado físico cuando adquieren valores enteros. La solución óptima que se obtiene en programación lineal con mucha frecuencia no es entera. Por esto, la suposición de *divisibilidad* se refiere a que las unidades de cada actividad se puedan dividir a cualquier nivel fraccional, para que se permitan valores no enteros de las variables de decisión.

La suposición de *certidumbre* dice que todos los parámetros del modelo son constantes conocidas. En realidad, los valores de los parámetros que se usan en el modelo casi siempre son sólo estimaciones basadas en una predicción de las condiciones futuras.

Por esta razón, siempre es importante realizar un **análisis de sensibilidad** después de encontrar una solución óptima para los parámetros elegidos o supuestos. El propósito general es encontrar los parámetros relativamente sensibles (es decir, aquellos que no pueden cambiar mucho sin cambiar la solución óptima) para tratar de estimarlos con mayor exactitud, y después elegir una solución que sea buena en toda la gama de valores posibles para estos parámetros sensibles.

En algunos casos, el grado de incertidumbre en los parámetros es demasiado grande para que el análisis de sensibilidad lo pueda manejar.

Una limitación importante en las aplicaciones de programación lineal, que impide muchas otras aplicaciones es la suposición de divisibilidad, que dice que las variables de decisión pueden tomar valores no enteros. En muchos problemas prácticos, las variables de decisión sólo tienen un sentido real si su valor es entero. Por ejemplo, con frecuencia es necesario asignar personas, máquinas o vehículos a las actividades, en cantidades enteras.

Esta limitación está presente en los modelos matemáticos de optimización del costo total de transporte de carga en ERCO S.A., debido a que el aporte de los modelos consiste en la asignación de la flota vehicular que garantice la minimización del costo de transporte. Por lo tanto, las variables de los modelos deben corresponder al número de viajes que deben realizarse entre plantas de la empresa, proveedores y centros de distribución.

Si el hecho de exigir valores enteros es la única diferencia que tiene un problema con la formulación de programación lineal, entonces se trata de un problema de **programación entera (PE)**. ( El nombre completo es programación lineal entera, pero por lo general el adjetivo lineal se deja por fuera).

El modelo matemático para programación entera es sencillamente el modelo de programación lineal con la restricción adicional de que las variables deben tener valores enteros. Si sólo es necesario que algunas de las variables tengan valores enteros (y la suposición de divisibilidad se cumple para el resto), el modelo es de *programación entera mixta (PEM)*. Cuando se hace la distinción entre un problema todo entero y este caso mixto, el primero se llama *programación entera pura*.

La totalidad de variables de decisión de los modelos matemáticos a desarrollar, son discretas, es decir, sólo pueden tomar valores enteros, por lo tanto, la metodología empleada para el diseño de los modelos de optimización del costo total de transporte de carga en la empresa ERCO S.A., es la programación entera pura.

Una vez los modelos matemáticos sean desarrollados, es necesario someterlos a un análisis de sensibilidad, con el fin de evaluar el efecto que algunas decisiones gerenciales relacionadas con el proceso de transporte de carga, podría tener sobre el costo de la función objetivo, en este caso, el costo mensual de transporte. El listado de posibles decisiones gerenciales define un conjunto de alternativas para modificar la estructura actual del proceso de transporte de carga, teniendo como objetivo la optimización del mismo. Cada una de estas posibles alternativas, define un escenario en el análisis de sensibilidad.

## CAPÍTULO 5: DISEÑO DE MODELOS MATEMÁTICOS

### 5. DISEÑO DE MODELOS MATEMÁTICOS

Existe una serie de factores que caracterizan un proceso de transporte de carga. Los modelos matemáticos deben considerar factores como:

- Costos de flete
- Tipo de contenedor
- Embalaje
- Mercancías movilizadas
- Rutas
- Tiempos de ruta
- Clasificación según la propiedad de los equipos de transporte
- Equipos disponibles (propios y alquilados)
- Demanda de materias primas
- Oferta de materias primas
- Demanda de productos
- Oferta de productos
- Disponibilidad de flota (equipos propios y alquilados)
- Almacenamientos en el C.A.
- Viajes Vacíos, esta restricción es de especial interés, debido a que los vehículos propios o alquilados que realizan entregas a los clientes, posteriormente deben dirigirse hacia proveedores o plantas de la empresa.

Existen otras restricciones al interior de las empresas, que pueden afectar la operación del proceso de transporte de carga, como son: problemas de producción, un ineficiente sistema de transferencia de materiales, una inadecuada gestión de inventarios o demoras en el tiempo de preparación de pedidos. Sin embargo, el modelo a desarrollar no está diseñado para este tipo de aplicaciones.

Es necesario definir una metodología de formulación de los modelos, que permita contemplar todos los factores característicos de un proceso de transporte de carga.

La metodología de programación lineal propone clasificar la información relacionada con un problema de investigación de operaciones, en las siguientes categorías:

- Índices del modelo
- Parámetros del modelo
- Restricciones del modelo

Los factores que definen la estructura de un proceso de transporte de carga fueron clasificados, según sus características, en las categorías anteriormente mencionadas.

### **5.1. Índices del modelo**

Entre los factores que pueden clasificarse en esta categoría están, los tipos de contenedor, las mercancías movilizadas, las restricciones de embalaje y la clasificación según la propiedad de los equipos de transporte.

El embalaje es una de las características distintivas de la mercancía movilizada, por lo tanto estos dos factores se combinarán en un (1) sólo índice, que incluye la mercancía movilizada y el embalaje de la misma.

El listado de índices de los modelos, se puede apreciar en la tabla 15.

**Tabla 15** Índices de los modelos matemáticos

Índices de los modelos	
$i$	Tipo de contenedor
$j$	Mercancía movilizada
$k$	Ruta
$l$	Propiedad de los equipos de transporte

Los índices  $i, j$ , y  $l$  son los mismos para los modelos correspondientes a las estrategias 1 y 2. El índice  $k$  corresponde al listado de rutas de cada estrategia, y por lo tanto, varía para cada modelo.

## 5.2. Parámetros del modelo

Los parámetros del modelo son:

- Costos de flete
- Costos de almacenamiento
- Capacidad de carga
- Tiempos de ruta
- Demanda de materias primas
- Oferta de materias primas

- Demanda de productos en proceso
- Oferta de productos en proceso
- Demanda de productos terminados
- Oferta de productos terminados
- Disponibilidad de flota

### **Costos de transporte**

Los costos de transporte corresponden a los equipos propios y alquilados, y los costos de flete a los servicios prestados por el contratista. Este parámetro sirve como indicador de la calidad de una vía determinada.

Los elementos considerados para el cálculo de los costos de transporte son:

- Alquiler de elemento tractor
- Alquiler de contenedor
- Peajes
- Combustibles
- Llenado de los Big Bags
- Cargue de mercancías (sacos, granel o Big Bags)
- Depreciación de los Big Bags
- Descargue de mercancías (sacos, granel o Big Bags)
- Carpe
- Descarpe
- Pesaje
- Desgaste de llantas

## **Costos de almacenamiento**

Son los costos de almacenamiento de materias primas y productos en proceso en el C.A. Estos costos deben considerar factores como la metodología de almacenaje, depreciación de las estibas, mantenimiento de los equipos de transporte, depreciación de estos equipos y arrendamiento del lote en que se encuentra el centro de distribución.

## **Capacidad de carga**

Corresponde al máximo número de toneladas que puede transportar un contenedor determinado al realizar un viaje.

## **Tiempos de ruta**

Este parámetro corresponde al intervalo de tiempo que un vehículo emplea para recorrer una ruta determinada. El tiempo de ruta, junto con el costo de flete, son indicadores de la calidad de la vía recorrida.

Los tiempos de ruta de los modelos fueron evaluados con base a información de movilización de carga en los últimos tres años.

Estos tiempos deben considerar actividades relacionadas con el transporte de carga, como el pesaje, carpe, descarpe, cargue, descarge, postura de sellos, y actividades de transferencia de materiales.

### **Demanda de materias primas**

La planta 1 tiene una demanda periódica de MP1, MP2 y MP3. Los proveedores deben estar en capacidad de satisfacer las cantidades demandadas; de lo contrario, la empresa debería buscar nuevos proveedores.

### **Oferta de materias primas**

Los proveedores tienen un límite en la cantidad de materias primas que pueden ofrecer a sus clientes, entre esos, la empresa ERCO S.A. Es muy importante que la suma de las cantidades ofrecidas por todos los proveedores sea mayor o igual a la demanda de materias primas de la empresa.

### **Demanda de productos en proceso**

La planta 2 demanda un volumen mensual de PI como insumo principal de su programa de producción. La planta 1 tiene la responsabilidad de satisfacer dicha demanda.

### **Oferta de productos en proceso**

La planta 1 tiene un límite en la producción de PI. La cantidad de PI fabricado en la planta 1 debe aproximarse al máximo a su propia demanda y a la de la planta 2, es decir, no incurrir en sobreproducción, debido a que el PI se almacena a granel en la intemperie, condición que puede afectar la calidad de este producto, y por tanto, del PT1 y PT2 fabricados en meses subsecuentes.

### **Demanda de productos en proceso**

La ciudad de Bogotá demanda un determinado volumen de PT1 y PT2. En el modelo correspondiente a la estrategia 1, la totalidad de dicho volumen será enviada al CEDI Bogotá. En el modelo 2, un parte de este volumen será entregada al C.A. y el resto será entregado directamente a los clientes en Bogotá (en el desarrollo del modelo se explicarán las razones consideradas para este planteamiento).

### **Oferta de productos terminados**

Las plantas 1 y 2 tienen una oferta limitada de PT1 y PT2. La oferta de estos productos debe ser aproximadamente igual a la demanda de los mismos.

### **Disponibilidad de flota**

La disponibilidad de flota está definida por la capacidad horaria disponible para un determinado periodo de tiempo, generalmente, un mes. El cálculo de la capacidad horaria disponible debe considerar los siguientes elementos:

- Días Logísticos del Mes
- Factor de Utilización de Flota
- Horarios de Operación
- Vehículos Disponibles

Existe una serie de factores que afectan la disponibilidad de flota, como son:

- Horarios de atención de proveedores
- Horarios de atención de clientes
- Horarios de movilización en carretera
- Pico y Placa (para las empresas que se movilicen entre Bogotá o Medellín)
- Tiempo empleado en el mantenimiento de los equipos

El efecto de estos factores se maneja mediante el cálculo de los *Días Logísticos del Mes*; este valor corresponde al número de días resultante de la sumatoria de las horas reales de operación de la flota vehicular en un mes.

La operación del proceso de transporte de carga implica la consideración de los respectivos suplementos para los conductores, situación que impide utilizar al 100% los recursos disponibles. Con base a lo anterior, debe desarrollarse un indicador que permita evaluar la eficiencia, en términos de utilización de los vehículos de transporte, este indicador se conoce como *Factor de Utilización de Flota*.

Las empresas definen un *horario de operación* para los vehículos de transporte de carga, el cual puede oscilar, desde ocho (8) hasta veinticuatro (24) horas diarias.

El *número de vehículos propios y alquilados disponibles*, afecta directamente la capacidad horaria disponible.

A continuación se presenta el cálculo de la capacidad horaria disponible.

*Convenciones:*

DLM: Días Logísticos del Mes	(días / mes)
FUF: Factor de Utilización de Flota	(% / vehículo)
HOV: Horas Diarias de Operación de los Vehículos	(horas / día)

NVD: Número de Vehículos Disponibles (vehículos)  
CHD: CAPACIDAD HORARIA DISPONIBLE (horas / mes)

$$\text{CHD} = \text{DLM} * \text{FUF} * \text{HOV} * \text{NVD}$$

Este cálculo debe realizarse para cada tipo de contenedor y debe ser independiente para vehículos propios o alquilados.

### 5.3. Restricciones del modelo

Las restricciones de los modelos matemáticos se clasifican en las siguientes categorías, definidas con base en algunos parámetros de los modelos y la naturaleza de dichas restricciones.

- Demanda de materias primas
- Oferta de materias primas
- Demanda de productos en proceso
- Oferta de productos en proceso
- Demanda de productos terminados
- Oferta de productos terminados
- Viajes Vacíos
- Disponibilidad de flota
- Almacenamientos (modelo 2)

Para ilustrar las características de cada categoría de restricciones se presentará a continuación una descripción detallada de cada restricción, seguida de un ejemplo de aplicación, que permita aclarar la metodología de formulación de la misma en el modelo matemático.

Las primeras seis (6) categorías de restricciones se pueden agrupar en una categoría general, denominada *demanda / oferta*, debido a que todas presentan la misma metodología de formulación.

### **Demanda / oferta**

Esta categoría general incluye la demanda y oferta de materias primas, productos en proceso y productos terminados. La cantidad demandada de una mercancía determinada, así como la oferta de la misma, están expresadas en toneladas, mientras que las variables del modelo indican el número de viajes a realizar, por lo tanto, es necesario considerar el máximo número de toneladas que un camión determinado, puede transportar al realizar algún viaje. A fin de aclarar esta explicación, se presenta el modelo 5-1.

#### **Ejemplo 5-1**

Una empresa productora de concentrados para animales demanda maíz y sorgo para su producción, para este fin cuenta con tres proveedores. La empresa produce concentrado para ganado porcino y caballar, los clientes de la empresa demandan 500 y 300 toneladas respectivamente. Estos concentrados se entregan en un centro de distribución de la empresa ubicado en la zona de demanda (CEDI). La empresa produce 15 toneladas de inventario de seguridad para cada tipo de concentrado.

Las tablas 5-2 y 5-3 presentan la información correspondiente a la demanda y oferta de materias primas.

**Tabla 16** Demanda de maíz y sorgo

Materia prima	Demanda mensual
Maíz	460
Sorgo	350

**Tabla 17** Oferta de maíz y sorgo

Proveedor	Materia Prima	Oferta Mensual
Proveedor 1	Maíz	290
Proveedor 2	Maíz	180
Proveedor 3	Sorgo	360

Para el transporte de carga, la empresa cuenta con camiones tipos C2 – S1, con capacidad de 16 toneladas. La empresa dispone de equipos propios, y en caso de que sea necesario recurre a camiones tipo C3 – S3 de un contratista. Estos camiones tiene capacidad de 35 toneladas.

Los índices del modelo serían:

**Tabla 18** Índices del modelos, ejemplo 5-1

Índice		
<i>i</i>	<b>Mercancía movilizada</b>	1- Maíz 2- Sorgo 3- Concentrado porcino 4- Concentrado caballar
<i>j</i>	<b>Ruta</b>	1- Planta – Centro de distribución 2- Proveedor 1 – Planta 3- Proveedor 2 - Planta 4- Proveedor 3 – Planta
<i>k</i>	<b>Propiedad de los equipos de transporte</b>	1- Propios 2- Contratista

$$\text{Función Objetivo} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 C_{ijk} * X_{ijk}$$

Sujeto a:

Demanda de materias primas

$$16X_{1,2,1} + 35X_{1,2,2} + 16X_{1,3,1} + 35X_{1,3,2} \geq 460 \text{ toneladas}$$

$$16X_{2,4,1} + 35X_{2,4,2} \geq 350 \text{ toneladas}$$

Oferta de materias primas

$$16X_{1,2,1} + 35X_{1,2,2} \leq 290 \text{ toneladas}$$

$$16X_{1,3,1} + 35X_{1,3,2} \leq 180 \text{ toneladas}$$

$$16X_{2,4,1} + 35X_{2,4,2} \leq 360 \text{ toneladas}$$

Demanda de productos terminados

$$16X_{3,1,1} + 35X_{3,1,2} \geq 500$$

$$16X_{4,1,1} + 35X_{4,1,2} \geq 300$$

Oferta de productos terminados

$$16X_{3,1,1} + 35X_{3,1,2} \leq 515$$

$$16X_{4,1,1} + 35X_{4,1,2} \leq 315$$

## **Viajes Vacíos**

Los vehículos propios de la empresa tienen dos opciones: regresar a la planta o dirigirse vacíos a los proveedores para recoger materias primas. Asimismo, el número de viajes de materia prima despachados por un proveedor dependen del número de vehículos vacíos que lleguen hasta su ubicación. También existe la posibilidad de que los vehículos de la empresa se dirijan vacíos desde la planta hasta los proveedores.

Esta restricción no aplica para los vehículos del contratista, debido a que a éste se le paga una tarifa origen – destino.

Esta situación debe plantearse en el modelo. Es importante aclarar que las restricciones correspondientes a viajes vacíos, deben plantearse por separado para los equipos propios o alquilados. En caso de que una empresa disponga de más de un tipo de contenedor, estas restricciones deben plantearse para cada tipo de contenedor.

En el caso planteado en el ejemplo 5-1, los índices correspondientes a las mercancías y a las rutas cambiarían, mientras que la propiedad de los equipos de transporte permanecería igual. (Ver ejemplo 5-2)

### **Ejemplo 5-2**

La inclusión de los viajes en vacío modificaría la tabla de índices. La tabla 19 presenta los que vendrían a ser los nuevos índices del modelo.

**Tabla 19** Índices modificados, ejemplo 2

Índice		
<i>i</i>	<b>Mercancía movilizada</b>	1- Maíz 2- Sorgo 3- Concentrado porcino 4- Concentrado caballar 5- <i>Vacio</i>
<i>j</i>	<b>Ruta</b>	1- Planta – Centro de distribución 2- Proveedor 1 – Planta 3- Proveedor 2 - Planta 4- Proveedor 3 – Planta 5- <i>CEDI – Planta</i> 6- <i>CEDI – Proveedor 1</i> 7- <i>CEDI – Proveedor 2</i> 8- <i>CEDI – Proveedor 3</i> 9- <i>Planta – Proveedor 1</i> 10- <i>Planta – Proveedor 2</i> 11- <i>Planta – Proveedor 3</i>
<i>k</i>	<b>Propiedad de equipos de transporte</b>	1- Propios 2- Contratista

Es necesario definir una nueva categoría en las restricciones del modelo, la cual se denomina *viajes vacíos*. La nueva categoría incluirá las siguientes restricciones:

$$X_{3,1,1} + X_{4,1,1} = X_{5,5,1} + X_{5,6,1} + X_{5,7,1} + X_{5,8,1}$$

$$X_{1,2,1} = X_{5,6,1} + X_{5,9,1}$$

$$X_{1,3,1} = X_{5,7,1} + X_{5,10,1}$$

$$X_{2,4,1} = X_{5,8,1} + X_{5,11,1}$$

### Disponibilidad de flota

La capacidad de la flota vehicular propia de la empresa no está definida directamente por el número de equipos disponibles, está definida por las horas de operación de estos vehículos para un determinado periodo de tiempo, generalmente un mes. Este valor se conoce como *disponibilidad de flota*. Esta

restricción debe plantearse por separado para equipos propios y alquilados, y para cada tipo de contenedor.

### Ejemplo 5-3

Antes de calcular la disponibilidad de flota, es necesario definir los siguientes parámetros.

DLM: 22 días/mes

FUF: 0,62 / vehículo (Definido según información histórica de la empresa)

HOV: 24 horas/día

NVD: 4 vehículos

**CHD = 1309,44 horas/mes**

Para formular la restricción correspondiente a la disponibilidad de flota, es necesario conocer los tiempos de ruta, por lo tanto, la tabla de índices cambiaría para adoptar su aspecto definitivo.

**Tabla 20** Listado definitivo de los índices del modelo, ejemplo 5-3

Índice					
<i>i</i>	<b>Mercancía movilizada</b>	1- Maiz 2- Sorgo 3- Concentrado porcino 4- Concentrado caballar 5- Vacío			
<i>j</i>	<b>Ruta</b>	<i>j</i>	<i>Origen</i>	<i>Destino</i>	<i>t<sub>ruta</sub> (h)</i>
		1	Planta	CEDI	6
		2	Proveedor 1	Planta	9
		3	Proveedor 2	Planta	10
		4	Proveedor 3	Planta	14
		5	CEDI	Planta	4
		6	CEDI	Proveedor 1	3
		7	CEDI	Proveedor 2	2
		8	CEDI	Proveedor 3	6
		9	Planta	Proveedor 1	4

Índice					
<i>j</i>	Ruta	10	Planta	Proveedor 2	3
		11	Planta	Proveedor 3	5
<i>k</i>	Propiedad de los equipos de transporte	1- Propios			
		2- Contratista			

La siguiente restricción corresponde a la disponibilidad de flota. Los coeficientes al lado izquierdo de la desigualdad corresponden al tiempo de ruta de cada viaje.

$$6X_{3,1,1} + 6X_{4,1,1} + 9X_{1,2,1} + 10X_{1,3,1} + 14X_{2,3,1} + 4X_{5,5,1} + 3X_{5,6,1} + 2X_{5,7,1} + 6X_{5,8,1} + 4X_{5,9,1} + 3X_{5,10,1} + 5X_{5,11,1} \leq 1309,44$$

### Almacenamientos

Esta restricción aparece en el modelo 2, debido a que el C.A. deberá almacenar MP1, MP2 y MP3. Básicamente, hay que especificar que las cantidades salientes de determinada mercancía deben ser menores o iguales a las que entraron al C.A., y definir unas variables de almacenamiento de materias primas y productos en proceso.

#### Ejemplo 5-4

Los tres proveedores de la empresa están interesados en la adquisición y comercialización de concentrado para ganado caballar. Por razones de seguridad y de tiempos de ruta, la empresa ha decidido llevar el concentrado hasta el centro de distribución, y desde allí, llevarlo a los proveedores. Es necesario definir las restricciones de almacenamiento de concentrado para ganado caballar en el centro de distribución.

$$16X_{4,6,1} + 35X_{4,6,2} + 16X_{4,7,1} + 32X_{4,7,2} + 16X_{4,8,1} + 35X_{4,8,2} \leq 16X_{4,1,1} + 35X_{4,1,2}$$

Esta restricción indica que el número de toneladas de concentrado para ganado caballar que sale del centro de distribución debe ser menor o igual de toneladas que allí llegaron.

$$ACC = (16X_{4,1,1} + 35X_{4,1,2}) - (16X_{4,6,1} + 35X_{4,6,2} + 16X_{4,7,1} + 32X_{4,7,2} + 16X_{4,8,1} + 35X_{4,8,2})$$

Esta restricción calcula el almacenamiento de concentrado para ganado caballar en el centro de distribución.

#### **5.4. Modelo 1**

El Modelo 1 representa el estado actual de la red de distribución de suministros en la empresa ERCO S.A. La característica principal de este modelo es la utilización del centro de distribución actual de la empresa, ubicado al sur de Bogotá (CEDI Bogotá).

El CEDI Bogotá tiene disponibilidad para almacenar únicamente PT1, no existe la posibilidad de almacenar Big Bags de MP2 y MP3, por lo tanto los vehículos que transportan PT1 deben dirigirse a los proveedores para recoger materias, o bien, tienen la opción de devolverse vacíos a la planta de donde partieron.

El modelo 1 contiene las siguientes categorías de restricciones:

- Demanda de materias primas
- Oferta de materias primas
- Demanda de productos en proceso
- Oferta de productos en proceso

- Demanda de productos terminados
- Oferta de productos terminados
- Disponibilidad de flota
- Viajes Vacíos

La información correspondiente a la demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados, se presenta de manera general en la tabla 21.

**Tabla 21** Demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 1

Destino	Mercancía	Demanda Mensual (toneladas)	Contenedores a Utilizar
CEDI Bogotá	PT1	3.296	Plataforma Multipropósito
	PT2	6.528	Tanque
Planta 1	MP1	2.048	Volco Multipropósito
	MP2	832	
	MP3	704	
	MP2 BB	544	Plataforma Multipropósito
	MP3 BB	480	
Planta 2	PI	1.280	Volco Multipropósito

La información correspondiente a la oferta de materias primas, productos en proceso y productos terminados, indica el punto de origen de una mercancía determinada y su oferta mensual.

**Tabla 22** Oferta de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 1

Origen	Mercancía	Oferta Mensual (toneladas)	Contenedores a Utilizar
Proveedor A	MP1	1.770	Volco Multipropósito
Proveedor B	MP1	390	
Proveedor C	MP2	840	
	MP3	710	
	MP2 BB	550	Plataforma
	MP3 BB	484	Multipropósito
Planta 1	PI	1.280	Volco Multipropósito
	PT1	2.440	Plataforma Multipropósito
	PT2	4.992	Tanque
Planta 2	PT1	864	Plataforma Multipropósito
	PT2	1.565	Tanque

Para presentar la disponibilidad de flota, es necesario diferenciar los equipos propios de los alquilados y especificar los tipos de contenedores.

**Tabla 23** Disponibilidad de flota

Contenedor	DLM	HOV	FUF	EQUIPOS PROPIOS		EQUIPOS ALQUILADOS	
				NVD	CHM	NVD	CHM
Tanque	25	24	0,92	2	1.104	1	552
Volco				4	2.208	3	1.656
Plataforma				2	1.104	2	1.104
Multipropósito				8	4.416	3	1.656

Convenciones:

DLM: Días Logísticos del Mes

FUF: Factor de Utilización de Flota

HOV: Horario de Operación de los Vehículos

NVD: Número de Vehículos Disponibles

CHM: Capacidad Horaria Mensual

### 5.4.1. Índices del modelo

Los índices que se combinarán para definir las variables del modelo 1 son:

- Contenedor
- Mercancía Transportada
- Ruta
- Clasificación según la propiedad de los equipos de transporte

**Tabla 24** Índices del modelo 1

Índice		Significado	
<i>i</i>	Tipo de contenedor	1- Tanque	2- Volco
		2- Volco	3- Multipropósito
<i>j</i>	Mercancía movilizada	1- MP1 Granel	6- PI
		2- MP2 Granel	7- PT1
		3- MP3 Granel	8- PT2
		4- MP2 Big Bags	9- Vacío
		5- MP3 Big Bags	

Índice		Significado			
<i>K</i>	Ruta	<i>K</i>	<i>Origen</i>	<i>Destino</i>	<i>t<sub>ruta</sub></i>
		1	Planta 1	CEDI Bogotá	7
		2	Planta 1	Planta 2	8
		3	Planta 2	CEDI Bogotá	3
		4	Proveedor A	Planta 1	10
		5	Proveedor B	Planta 1	12
		6	Proveedor C	Planta 1	15
		7	Planta 1	Proveedor A	7
		8	Planta 1	Proveedor B	9
		9	Planta 1	Proveedor C	11
		10	Planta 2	Proveedor A	4
		11	Planta 2	Proveedor B	6
		12	Planta 2	Proveedor C	9
		13	Planta 2	Planta 1	4
		14	CEDI Bogotá	Planta 1	5
		15	CEDI Bogotá	Planta 2	2
		16	CEDI Bogotá	Proveedor A	6
		17	CEDI Bogotá	Proveedor B	8
18	CEDI Bogotá	Proveedor C	10		
<i>I</i>	Propiedad de los equipos de transporte	1- Propios 2- Alquilados 3- Contratista			

#### 5.4.2. Modelo matemático

En el presente numeral se desarrollará la estructura del modelo 1, el cual corresponde a la red distribución de suministros actual de la empresa. La metodología consiste en la formulación de la función objetivo (ver anexo B: COSTOS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO), seguida de las restricciones correspondientes. En la formulación de las restricciones es necesario especificar

la categoría de éstas, y en algunos casos, la propiedad de los equipos de transporte y el tipo de contenedor.

FUNCIÓN OBJETIVO: Minimizar  $Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{18} \sum_{l=1}^3 C_{ijkl} * X_{ijkl}$

SUJETO A:

**Demanda de materias primas**

*MP1 planta 1:*

$$32X_{2,1,4,1} + 32X_{2,1,4,2} + 32X_{2,1,4,3} + 34X_{4,1,4,1} + 34X_{4,1,4,2} + 34X_{4,1,4,3} + 32X_{2,1,5,1} + 32X_{2,1,5,2} + 32X_{2,1,5,3} + 34X_{4,1,5,1} + 34X_{4,1,5,2} + 34X_{4,1,5,3} \geq 2.048 \text{ t/mes}$$

*MP2 planta 1:*

$$32X_{2,2,6,1} + 32X_{2,2,6,2} + 32X_{2,2,6,3} + 34X_{4,2,6,1} + 34X_{4,2,6,2} + 34X_{4,2,6,3} \geq 832 \text{ t/mes}$$

*MP3 planta 1:*

$$32X_{2,3,6,1} + 32X_{2,3,6,2} + 32X_{2,3,6,3} + 34X_{4,3,6,1} + 34X_{4,3,6,2} + 34X_{4,3,6,3} \geq 704 \text{ t/mes}$$

*MP2 en big bags planta 1:*

$$32X_{3,4,6,1} + 32X_{3,4,6,2} + 32X_{3,4,6,3} + 34X_{4,4,6,1} + 34X_{4,4,6,2} + 34X_{4,4,6,3} \geq 544 \text{ t/mes}$$

*MP3 en big bags planta 1:*

$$32X_{3,5,6,1} + 32X_{3,5,6,2} + 32X_{3,5,6,3} + 34X_{4,5,6,1} + 34X_{4,5,6,2} + 34X_{4,5,6,3} \geq 480 \text{ t/mes}$$

## **Demanda de productos en proceso**

*PI planta 2:*

$$32X_{2,6,2,1} + 32X_{2,6,2,2} + 32X_{2,6,2,3} + 34X_{4,6,2,1} + 34X_{4,6,2,2} + 34X_{4,6,2,3} \geq 1.280 \text{ t/mes}$$

## **Demanda de productos terminados**

*PT1 CEDI Bogotá:*

$$32X_{3,7,1,1} + 32X_{3,7,1,2} + 32X_{3,7,1,3} + 34X_{4,7,1,1} + 34X_{4,7,1,2} + 34X_{4,7,1,3} + 32X_{3,7,3,1} + 32X_{3,7,3,2} + 32X_{3,7,3,3} + 34X_{4,7,3,1} + 34X_{4,7,3,2} + 34X_{4,7,3,3} \geq 3.296 \text{ t/mes}$$

*PT2 CEDI Bogotá:*

$$32X_{1,8,1,1} + 32X_{1,8,1,2} + 32X_{1,8,1,3} + 32X_{1,8,3,1} + 32X_{1,8,3,2} + 32X_{1,8,3,3} \geq 6.528 \text{ t/mes}$$

## **Oferta de materias primas**

*MP1 proveedor A:*

$$32X_{2,1,4,1} + 32X_{2,1,4,2} + 32X_{2,1,4,3} + 34X_{4,1,4,1} + 34X_{4,1,4,2} + 34X_{4,1,4,3} \leq 1.770 \text{ t/mes}$$

*MP1 proveedor B:*

$$32X_{2,1,5,1} + 32X_{2,1,5,2} + 32X_{2,1,5,3} + 34X_{4,1,5,1} + 34X_{4,1,5,2} + 34X_{4,1,5,3} \leq 390 \text{ t/mes}$$

*MP2 proveedor C:*

$$32X_{2,2,6,1} + 32X_{2,2,6,2} + 32X_{2,2,6,3} + 34X_{4,2,6,1} + 34X_{4,2,6,2} + 34X_{4,2,6,3} \leq 840 \text{ t/mes}$$

*MP3 proveedor C:*

$$32X_{2,3,6,1} + 32X_{2,3,6,2} + 32X_{2,3,6,3} + 34X_{4,3,6,1} + 34X_{4,3,6,2} + 34X_{4,3,6,3} \leq 710 \text{ t/mes}$$

*MP2 en big bags proveedor C:*

$$32X_{3,4,6,1} + 32X_{3,4,6,2} + 32X_{3,4,6,3} + 34X_{4,4,6,1} + 34X_{4,4,6,2} + 34X_{4,4,6,3} \leq 550 \text{ t/mes}$$

*MP3 en big bags planta 1:*

$$32X_{3,5,6,1} + 32X_{3,5,6,2} + 32X_{3,5,6,3} + 34X_{4,5,6,1} + 34X_{4,5,6,2} + 34X_{4,5,6,3} \leq 484 \text{ t/mes}$$

### **Oferta de productos en proceso**

*PI planta 1:*

$$32X_{2,6,2,1} + 32X_{2,6,2,2} + 32X_{2,6,2,3} + 34X_{4,6,2,1} + 34X_{4,6,2,2} + 34X_{4,6,2,3} \leq 1.280 \text{ t/mes}$$

### **Oferta de productos terminados**

*PT1 planta 1:*

$$32X_{3,7,1,1} + 32X_{3,7,1,2} + 32X_{3,7,1,3} + 34X_{4,7,1,1} + 34X_{4,7,1,2} + 34X_{4,7,1,3} \leq 2.440 \text{ t/mes}$$

*PT1 planta 2:*

$$32X_{3,7,3,1} + 32X_{3,7,3,2} + 32X_{3,7,3,3} + 34X_{4,7,3,1} + 34X_{4,7,3,2} + 34X_{4,7,3,3} \leq 864 \text{ t/mes}$$

*PT2 planta 1:*

$$32X_{1,8,1,1} + 32X_{1,8,1,2} + 32X_{1,8,1,3} \leq 4.992 \text{ t/mes}$$

*PT2 planta 2:*

$$32X_{1,8,3,1} + 32X_{1,8,3,2} + 32X_{1,8,3,3} \leq 1.565 \text{ t/mes}$$

## **Disponibilidad de flota**

*Equipos propios*

Tanque:

$$7X_{1,8,1,1} + 3X_{1,8,3,1} + 5X_{1,9,14,1} + 2X_{1,9,15,1} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Volco:

$$10X_{2,1,4,1} + 12X_{2,1,5,1} + 15X_{2,2,6,1} + 15X_{2,3,6,1} + 8X_{2,6,2,1} + 7X_{2,9,7,1} + 9X_{2,9,8,1} + 11X_{2,9,9,1} + 4X_{2,9,10,1} + 6X_{2,9,11,1} + 9X_{2,9,12,1} + 4X_{2,9,13,1} \leq 2.208 \text{ h/mes}$$

Plataforma:

$$7X_{3,7,1,1} + 3X_{3,7,3,1} + 15X_{3,4,6,1} + 15X_{3,5,6,1} + 11X_{3,9,9,1} + 9X_{3,9,12,1} + 5X_{3,9,14,1} + 2X_{3,9,15,1} + 10X_{3,9,18,1} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Multipropósito:

$$7X_{4,7,1,1} + 3X_{4,7,3,1} + 8X_{4,6,2,1} + 10X_{4,1,4,1} + 12X_{4,1,5,1} + 15X_{4,2,6,1} + 15X_{4,3,6,1} + 15X_{4,4,6,1} + 15X_{4,5,6,1} + 7X_{4,9,7,1} + 9X_{4,9,8,1} + 11X_{4,9,9,1} + 4X_{4,9,10,1} + 6X_{4,9,11,1} + 9X_{4,9,12,1} + 4X_{4,9,13,1} + 5X_{4,9,14,1} + 2X_{4,9,15,1} + 6X_{4,9,16,1} + 8X_{4,9,17,1} + 10X_{4,9,18,1} \leq 2.760 \text{ h/mes}$$

*Equipos alquilados*

Tanque:

$$7X_{1,8,1,2} + 3X_{1,8,3,2} + 5X_{1,9,14,2} + 2X_{1,9,15,2} \leq 552 \text{ h/mes}$$

Volco:

$$10X_{2,1,4,2} + 12X_{2,1,5,2} + 15X_{2,2,6,2} + 15X_{2,3,6,2} + 8X_{2,6,2,2} + 7X_{2,9,7,2} + 9X_{2,9,8,2} + 11X_{2,9,9,2} + 4X_{2,9,10,2} + 6X_{2,9,11,2} + 9X_{2,9,12,2} + 4X_{2,9,13,2} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Plataforma:

$$7X_{3,7,1,2} + 3X_{3,7,3,2} + 15X_{3,4,6,2} + 15X_{3,5,6,2} + 11X_{3,9,9,2} + 9X_{3,9,12,2} + 5X_{3,9,14,2} + 2X_{3,9,15,2} + 10X_{3,9,18,2} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Multipropósito:

$$7X_{4,7,1,2} + 3X_{4,7,3,2} + 8X_{4,6,2,2} + 10X_{4,1,4,2} + 12X_{4,1,5,2} + 15X_{4,2,6,2} + 15X_{4,3,6,2} + 15X_{4,4,6,2} + 15X_{4,5,6,2} + 7X_{4,9,7,2} + 9X_{4,9,8,2} + 11X_{4,9,9,2} + 4X_{4,9,10,2} + 6X_{4,9,11,2} + 9X_{4,9,12,2} + 4X_{4,9,13,2} + 5X_{4,9,14,2} + 2X_{4,9,15,2} + 6X_{4,9,16,2} + 8X_{4,9,17,2} + 10X_{4,9,18,2} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

## Viajes Vacíos

### *Equipos propios*

Tanque:

$$X_{1,8,1,1} = X_{1,9,14,1}$$

$$X_{1,8,3,1} = X_{1,9,15,1}$$

Volco:

$$X_{2,6,2,1} = X_{2,9,10,1} + X_{2,9,11,1} + X_{2,9,12,1} + X_{2,9,13,1}$$

$$X_{2,1,4,1} = X_{2,9,7,1} + X_{2,9,10,1}$$

$$X_{2,1,5,1} = X_{2,9,8,1} + X_{2,9,11,1}$$

$$X_{2,2,6,1} + X_{2,3,6,1} = X_{2,9,9,1} + X_{2,9,12,1}$$

Plataforma:

$$X_{3,7,1,1} + X_{3,7,3,1} = X_{3,9,14,1} + X_{3,9,15,1} + X_{3,9,18,1}$$

$$X_{3,4,6,1} + X_{3,5,6,1} = X_{3,9,9,1} + X_{3,9,12,1} + X_{3,9,18,1}$$

Multipropósito:

$$X_{4,7,1,1} + X_{4,7,3,1} = X_{4,9,14,1} + X_{4,9,15,1} + X_{4,9,16,1} + X_{4,9,17,1} + X_{4,9,18,1}$$

$$X_{4,6,2,1} + X_{4,9,15,1} = X_{4,9,10,1} + X_{4,9,11,1} + X_{4,9,12,1} + X_{4,9,13,1}$$

$$X_{4,1,4,1} = X_{4,9,7,1} + X_{4,9,10,1} + X_{4,9,16,1}$$

$$X_{4,1,5,1} = X_{4,9,8,1} + X_{4,9,11,1} + X_{4,9,17,1}$$

$$X_{4,2,6,1} + X_{4,3,6,1} + X_{4,4,6,1} + X_{4,5,6,1} = X_{4,9,9,1} + X_{4,9,12,1} + X_{4,9,18,1}$$

## *Equipos alquilados*

Tanque:

$$X_{1,8,1,2} = X_{1,9,14,2}$$

$$X_{1,8,3,2} = X_{1,9,15,2}$$

Volco:

$$X_{2,6,2,2} = X_{2,9,10,2} + X_{2,9,11,2} + X_{2,9,12,2} + X_{2,9,13,2}$$

$$X_{2,1,4,2} = X_{2,9,7,2} + X_{2,9,10,2}$$

$$X_{2,1,5,2} = X_{2,9,8,2} + X_{2,9,11,2}$$

$$X_{2,2,6,2} + X_{2,3,6,2} = X_{2,9,9,2} + X_{2,9,12,2}$$

Plataforma:

$$X_{3,7,1,2} + X_{3,7,3,2} = X_{3,9,14,2} + X_{3,9,15,2} + X_{3,9,18,2}$$

$$X_{3,4,6,2} + X_{3,5,6,2} = X_{3,9,9,2} + X_{3,9,12,2} + X_{3,9,18,2}$$

Multipropósito:

$$X_{4,7,1,2} + X_{4,7,3,2} = X_{4,9,14,2} + X_{4,9,15,2} + X_{4,9,16,2} + X_{4,9,17,2} + X_{4,9,18,2}$$

$$X_{4,6,2,2} + X_{4,9,15,2} = X_{4,9,10,2} + X_{4,9,11,2} + X_{4,9,12,2} + X_{4,9,13,2}$$

$$X_{4,1,4,2} = X_{4,9,7,2} + X_{4,9,10,2} + X_{4,9,16,2}$$

$$X_{4,1,5,2} = X_{4,9,8,2} + X_{4,9,11,2} + X_{4,9,17,2}$$

$$X_{4,2,6,2} + X_{4,3,6,2} + X_{4,4,6,2} + X_{4,5,6,2} = X_{4,9,9,2} + X_{4,9,12,2} + X_{4,9,18,2}$$

## 5.5. Modelo 2

El Modelo 2 está diseñado para representar el comportamiento que tendría la flota vehicular de la empresa, en caso de que el centro de distribución actual (CEDI Bogotá) sea reemplazado por el centro de acopio (C.A.) ubicado al suroriente de Bogotá.

Este modelo incluye una nueva categoría de restricciones, denominada *almacenamientos*. Considerando esta observación, el modelo 2 contendría las siguientes categorías de restricciones:

- Demanda de materias primas
- Oferta de materias primas
- Demanda de productos en proceso
- Oferta de productos en proceso
- Demanda de productos terminados
- Oferta de productos terminados
- Disponibilidad de flota
- Viajes vacíos
- Almacenamientos

La información correspondiente a la demanda de materias primas se presenta de manera general en la tabla 25.

**Tabla 25** Demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 2

Destino	Mercancía	Demanda Mensual (toneladas)	Contenedores a Utilizar
Bogotá	PT1	992	Plataforma Multipropósito
	PT2	6.528	Tanque
C.A.	PT1	2.304	Plataforma Multipropósito
Planta 1	MP1	2.48	Volco Multipropósito
	MP2	832	
	MP3	704	
	MP2 BB	544	Plataforma Multipropósito
	MP3 BB	480	
Planta 2	PI	1.280	Volco Multipropósito

La información correspondiente a la oferta de materias primas, productos en proceso y productos terminados, se presenta de la misma forma que se presentó en el modelo 1, indicando el punto de origen de una mercancía determinada y la oferta mensual de la misma.

**Tabla 26** Oferta de materias primas, productos en proceso y productos terminados, modelo 2

Origen	Mercancía	Oferta Mensual (toneladas)	Contenedores a Utilizar
Proveedor A	MP1	1.770	Volco Multipropósito
Proveedor B	MP1	390	
Proveedor C	MP2	840	
	MP3	710	Plataforma Multipropósito
	MP2 BB	550	
	MP3 BB	484	
Planta 1	PI	1.280	Volco Multipropósito
	PT1	2.440	Plataforma Multipropósito
	PT2	4.992	Tanque
Planta 2	PT1	864	Plataforma Multipropósito
	PT2	1.565	Tanque

La información relacionada con la disponibilidad de flota no presenta modificaciones respecto a la que fue presentada en el modelo 1 (ver tabla 23), debido a que no fueron consideradas las opciones de compra o alquiler de equipos de transporte para esta estrategia.

### 5.5.1. Índices del modelo

Los índices  $i, j, y, l$ , son los mismos que en el modelo 1. El índice  $k$  se modifica debido a la inclusión de nuevas rutas y a la desaparición de otras.

**Tabla 27** Índices del modelo 2

Índice		Significado			
$i$	Tipo de Contenedor	1- Tanque	3 - Plataforma		
		2- Volco	4 - Multipropósito		
$j$	Mercancía movilizada	1- MP1 Granel	6- PI		
		2- MP2 Granel	7- PT1		
		3- MP3 Granel	8- PT2		
		4- MP2 Big Bags	9- Vacío		
		5- MP3 Big Bags			
$k$	Ruta	$K$	<i>Origen</i>	<i>Destino</i>	$t_{ruta}$
		1	Planta 1	Bogotá	7
		2	Planta 1	C.A.	4
		3	Planta 1	Planta 2	8
		4	Planta 2	Bogotá	3
		5	Planta 2	C.A.	6 <sup>15</sup>
		6	Proveedor A	Planta 1	10
		7	Proveedor B	Planta 1	12
		8	Proveedor C	Planta 1	15
		9	Proveedor A	C.A.	6
		10	Proveedor B	C.A.	7
		11	Proveedor C	C.A.	10
		12	C.A.	Planta 1	4
13	C.A.	Planta 2	6		

<sup>15</sup> Cuando este recorrido se realiza vacío, el tiempo de ruta es igual a cuatro (4) horas.

Índice		Significado			
		<i>K</i>	<i>Origen</i>	<i>Destino</i>	<i>t<sub>ruta</sub></i>
		14	C.A.	Proveedor A	5
		15	C.A.	Proveedor B	6
		16	C.A.	Proveedor C	8
		17	Bogotá	C.A.	2
		18	Bogotá	Planta 1	5
		19	Bogotá	Planta 2	2
		20	Bogotá	Proveedor A	6
		21	Bogotá	Proveedor B	8
		22	Bogotá	Proveedor C	10
		23	Planta 1	Proveedor A	7
		24	Planta 1	Proveedor B	9
		25	Planta 1	Proveedor C	11
		26	Planta 2	Proveedor A	4
		27	Planta 2	Proveedor B	6
		28	Planta 2	Proveedor C	7
		29	Planta 2	Planta 1	5
<i>I</i>	Propiedad de los equipos de transporte	1- Propios 2- Alquilados 3- Contratista			

### 5.5.2. Modelo matemático

En modelo 2 representa la nueva estructura de la red de distribución de suministros, en caso de que la empresa opte por desarrollar el C.A. Este modelo incluye una nueva categoría de restricciones, denominada *almacenamientos*.

$$\text{FUNCIÓN OBJETIVO: Minimizar } Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{27} \sum_{l=1}^3 C_{ijkl} * X_{ijkl}$$

SUJETO A:

## **Demanda de materias primas**

*MP1 planta 1:*

$$32X_{2,1,6,1} + 32X_{2,1,6,2} + 32X_{2,1,6,3} + 34X_{4,1,6,1} + 34X_{4,1,6,2} + 34X_{4,1,6,3} + 32X_{2,1,7,1} + 32X_{2,1,7,2} + 32X_{2,1,7,3} + 34X_{4,1,7,1} + 34X_{4,1,7,2} + 34X_{4,1,7,3} + 32X_{2,1,12,1} + 32X_{2,1,12,2} + 32X_{2,1,12,3} + 34X_{4,1,12,1} + 34X_{4,1,12,2} + 34X_{4,1,12,3} \geq 2.048 \text{ t/mes}$$

*MP2 planta 1:*

$$32X_{2,2,8,1} + 32X_{2,2,8,2} + 32X_{2,2,8,3} + 34X_{4,2,8,1} + 34X_{4,2,8,2} + 34X_{4,2,8,3} + 32X_{2,2,12,1} + 32X_{2,2,12,2} + 32X_{2,2,12,3} + 34X_{4,2,12,1} + 34X_{4,2,12,2} + 34X_{4,2,12,3} \geq 832 \text{ t/mes}$$

*MP3 proveedor C:*

$$32X_{2,3,8,1} + 32X_{2,3,8,2} + 32X_{2,3,8,3} + 34X_{4,3,8,1} + 34X_{4,3,8,2} + 34X_{4,3,8,3} + 32X_{2,3,12,1} + 32X_{2,3,12,2} + 32X_{2,3,12,3} + 34X_{4,3,12,1} + 34X_{4,3,12,2} + 34X_{4,3,12,3} \geq 704 \text{ t/mes}$$

*MP2 en big bags planta 1:*

$$32X_{3,4,8,1} + 32X_{3,4,8,2} + 32X_{3,4,8,3} + 34X_{4,4,8,1} + 34X_{4,4,8,2} + 34X_{4,4,8,3} + 32X_{3,4,12,1} + 32X_{3,4,12,2} + 32X_{3,4,12,3} + 34X_{4,4,12,1} + 34X_{4,4,12,2} + 34X_{4,4,12,3} \geq 544 \text{ t/mes}$$

*MP3 en big bags planta 1:*

$$32X_{3,5,8,1} + 32X_{3,5,8,2} + 32X_{3,5,8,3} + 34X_{4,5,8,1} + 34X_{4,5,8,2} + 34X_{4,5,8,3} + 32X_{3,5,12,1} + 32X_{3,5,12,2} + 32X_{3,5,12,3} + 34X_{4,5,12,1} + 34X_{4,5,12,2} + 34X_{4,5,12,3} \geq 480 \text{ t/mes}$$

## **Demanda de productos en proceso**

*PI planta 1:*

$$32X_{2,6,3,1} + 32X_{2,6,3,2} + 32X_{2,6,3,3} + 34X_{4,6,3,1} + 34X_{4,6,3,2} + 34X_{4,6,3,3} + 32X_{2,6,13,1} + 32X_{2,6,13,2} + 32X_{2,6,13,3} + 34X_{4,6,13,1} + 34X_{4,6,13,2} + 34X_{4,6,13,3} \geq 1.280 \text{ t/mes}$$

## **Demanda de productos terminados**

*PT1 Bogotá:*

$$32X_{3,7,1,1} + 32X_{3,7,1,2} + 32X_{3,7,1,3} + 34X_{4,7,1,1} + 34X_{4,7,1,2} + 34X_{4,7,1,3} + 32X_{3,7,4,1} + 32X_{3,7,4,2} + 32X_{3,7,4,3} + 34X_{4,7,4,1} + 34X_{4,7,4,2} + 34X_{4,7,4,3} \geq 992 \text{ t/mes}$$

*PT1 C.A.:*

$$32X_{3,7,2,1} + 32X_{3,7,2,2} + 32X_{3,7,2,3} + 34X_{4,7,2,1} + 34X_{4,7,2,2} + 34X_{4,7,2,3} + 32X_{3,7,5,1} + 32X_{3,7,5,2} + 32X_{3,7,5,3} + 34X_{4,7,5,1} + 34X_{4,7,5,2} + 34X_{4,7,5,3} \geq 2.304 \text{ t/mes}$$

*PT2 Bogotá:*

$$32X_{1,8,1,1} + 32X_{1,8,1,2} + 32X_{1,8,1,3} + 32X_{1,8,4,1} + 32X_{1,8,4,2} + 32X_{1,8,4,3} \geq 6.528 \text{ t/mes}$$

## **Oferta de materias primas**

*MP1 proveedor A:*

$$32X_{2,1,6,1} + 32X_{2,1,6,2} + 32X_{2,1,6,3} + 34X_{4,1,6,1} + 34X_{4,1,6,2} + 34X_{4,1,6,3} + 32X_{2,1,9,1} + 32X_{2,1,9,2} + 32X_{2,1,9,3} + 34X_{4,1,9,1} + 34X_{4,1,9,2} + 34X_{4,1,9,3} \leq 1.770 \text{ t/mes}$$

*MP1 proveedor B:*

$$32X_{2,1,7,1} + 32X_{2,1,7,2} + 32X_{2,1,7,3} + 34X_{4,1,7,1} + 34X_{4,1,7,2} + 34X_{4,1,7,3} + 32X_{2,1,10,1} + 32X_{2,1,10,2} + 32X_{2,1,10,3} + 34X_{4,1,10,1} + 34X_{4,1,10,2} + 34X_{4,1,10,3} \leq 390 \text{ t/mes}$$

*MP2 proveedor C:*

$$32X_{2,2,8,1} + 32X_{2,2,8,2} + 32X_{2,2,8,3} + 34X_{4,2,8,1} + 34X_{4,2,8,2} + 34X_{4,2,8,3} + 32X_{2,2,11,1} + 32X_{2,2,11,2} + 32X_{2,2,11,3} + 34X_{4,2,11,1} + 34X_{4,2,11,2} + 34X_{4,2,11,3} \leq 840 \text{ t/mes}$$

*MP3 proveedor C:*

$$32X_{2,3,8,1} + 32X_{2,3,8,2} + 32X_{2,3,8,3} + 34X_{4,3,8,1} + 34X_{4,3,8,2} + 34X_{4,3,8,3} + 32X_{2,3,11,1} + 32X_{2,3,11,2} + 32X_{2,3,11,3} + 34X_{4,3,11,1} + 34X_{4,3,11,2} + 34X_{4,3,11,3} \leq 710 \text{ t/mes}$$

*MP2 en big bags proveedor C:*

$$32X_{3,4,8,1} + 32X_{3,4,8,2} + 32X_{3,4,8,3} + 34X_{4,4,8,1} + 34X_{4,4,8,2} + 34X_{4,4,8,3} + 32X_{3,4,11,1} + 32X_{3,4,11,2} + 32X_{3,4,11,3} + 34X_{4,4,11,1} + 34X_{4,4,11,2} + 34X_{4,4,11,3} \leq 550 \text{ t/mes}$$

*MP3 en big bags proveedor C:*

$$32X_{3,5,8,1} + 32X_{3,5,8,2} + 32X_{3,5,8,3} + 34X_{4,5,8,1} + 34X_{4,5,8,2} + 34X_{4,5,8,3} + 32X_{3,5,11,1} + 32X_{3,5,11,2} + 32X_{3,5,11,3} + 34X_{4,5,11,1} + 34X_{4,5,11,2} + 34X_{4,5,11,3} \leq 484 \text{ t/mes}$$

## Oferta de productos en proceso

*PI planta 1:*

$$32X_{2,6,2,1} + 32X_{2,6,2,2} + 32X_{2,6,2,3} + 34X_{4,6,2,1} + 34X_{4,6,2,2} + 34X_{4,6,2,3} + 32X_{2,6,3,1} + 32X_{2,6,3,2} + 32X_{2,6,3,3} + 34X_{4,6,3,1} + 34X_{4,6,3,2} + 34X_{4,6,3,3} \leq 1.280 \text{ t/mes}$$

## Oferta de productos terminados

*PT1 planta 1:*

$$32X_{3,7,1,1} + 32X_{3,7,1,2} + 32X_{3,7,1,3} + 34X_{4,7,1,1} + 34X_{4,7,1,2} + 34X_{4,7,1,3} + 32X_{3,7,2,1} + 32X_{3,7,2,2} + 32X_{3,7,2,3} + 34X_{4,7,2,1} + 34X_{4,7,2,2} + 34X_{4,7,2,3} \leq 2.440 \text{ t/mes}$$

*PT1 planta 2:*

$$32X_{3,7,4,1} + 32X_{3,7,4,2} + 32X_{3,7,4,3} + 34X_{4,7,4,1} + 34X_{4,7,4,2} + 34X_{4,7,4,3} + 32X_{3,7,5,1} + 32X_{3,7,5,2} + 32X_{3,7,5,3} + 34X_{4,7,5,1} + 34X_{4,7,5,2} + 34X_{4,7,5,3} \leq 864 \text{ t/mes}$$

*PT2 planta 1:*

$$32X_{1,8,1,1} + 32X_{1,8,1,2} + 32X_{1,8,1,3} \leq 4.992 \text{ t/mes}$$

*PT2 planta 2:*

$$32X_{1,8,4,1} + 32X_{1,8,4,2} + 32X_{1,8,4,3} \leq 1.565 \text{ t/mes}$$

## Disponibilidad de Flota

### *Equipos propios*

Tanque:

$$7X_{1,8,1,1} + 3X_{1,8,4,1} + 5X_{1,9,18,1} + 2X_{1,9,19,1} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Volco:

$$4X_{2,6,2,1} + 8X_{2,6,3,1} + 10X_{2,1,6,1} + 12X_{2,1,7,1} + 15X_{2,2,8,1} + 15X_{2,3,8,1} + 6X_{2,1,9,1} + 7X_{2,1,10,1} \\ + 10X_{2,2,11,1} + 10X_{2,3,11,1} + 4X_{2,1,12,1} + 4X_{2,2,12,1} + 4X_{2,3,12,1} + 6X_{2,6,13,1} + 4X_{2,9,5,1} + \\ 5X_{2,9,14,1} + 6X_{2,9,15,1} + 8X_{2,9,16,1} + 7X_{2,9,23,1} + 9X_{2,9,24,1} + 11X_{2,9,25,1} + 4X_{2,9,26,1} + \\ 6X_{2,9,27,1} + 9X_{2,9,28,1} + 5X_{2,9,29,1} \leq 2.208 \text{ h/mes}$$

Plataforma:

$$7X_{3,7,1,1} + 4X_{3,7,2,1} + 3X_{3,7,4,1} + 6X_{3,7,5,1} + 15X_{3,4,8,1} + 15X_{3,5,8,1} + 10X_{3,4,11,1} + \\ 10X_{3,5,11,1} + 4X_{3,4,12,1} + 4X_{3,5,12,1} + 8X_{3,9,16,1} + 2X_{3,9,17,1} + 5X_{3,9,18,1} + 2X_{3,9,19,1} + \\ 10X_{3,9,22,1} + 11X_{3,9,25,1} + 7X_{3,9,28,1} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Multipropósito:

$$4X_{4,6,2,1} + 8X_{4,6,3,1} + 7X_{4,7,1,1} + 4X_{4,7,2,1} + 3X_{4,7,4,1} + 6X_{4,7,5,1} + 10X_{4,1,6,1} + 12X_{4,1,7,1} + \\ 15X_{4,2,8,1} + 15X_{4,3,8,1} + 15X_{4,4,8,1} + 15X_{4,5,8,1} + 6X_{4,1,9,1} + 7X_{4,1,10,1} + 10X_{4,2,11,1} + \\ 10X_{4,3,11,1} + 10X_{4,4,11,1} + 10X_{4,5,11,1} + 4X_{4,1,12,1} + 4X_{4,2,12,1} + 4X_{4,3,12,1} + 4X_{4,4,12,1} + \\ 4X_{4,5,12,1} + 6X_{4,6,13,1} + 4X_{4,9,5,1} + 5X_{4,9,14,1} + 6X_{4,9,15,1} + 8X_{4,9,16,1} + 2X_{4,9,17,1} + \\ 5X_{4,9,18,1} + 2X_{4,9,19,1} + 6X_{4,9,20,1} + 8X_{4,9,21,1} + 10X_{4,9,22,1} + 7X_{4,9,23,1} + 9X_{4,9,24,1} + \\ 11X_{4,9,25,1} + 4X_{4,9,26,1} + 6X_{4,9,27,1} + 7X_{4,9,28,1} + 5X_{4,9,29,1} \leq 2.760 \text{ h/mes}$$

### *Equipos alquilados*

Tanque:

$$7X_{1,8,1,2} + 3X_{1,8,4,2} + 5X_{1,9,18,2} + 2X_{1,9,19,2} \leq 552 \text{ h/mes}$$

Volco:

$$4X_{2,6,2,2} + 8X_{2,6,3,2} + 10X_{2,1,6,2} + 12X_{2,1,7,2} + 15X_{2,2,8,2} + 15X_{2,3,8,2} + 6X_{2,1,9,2} + 7X_{2,1,10,2} \\ + 10X_{2,2,11,2} + 10X_{2,3,11,2} + 4X_{2,1,12,2} + 4X_{2,2,12,2} + 4X_{2,3,12,2} + 6X_{2,6,13,2} + 4X_{2,9,5,2} + \\ 5X_{2,9,14,2} + 6X_{2,9,15,2} + 8X_{2,9,16,2} + 7X_{2,9,23,2} + 9X_{2,9,24,2} + 11X_{2,9,25,2} + 4X_{2,9,26,2} + \\ 6X_{2,9,27,2} + 9X_{2,9,28,2} + 5X_{2,9,29,2} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Plataforma:

$$7X_{3,7,1,2} + 4X_{3,7,2,2} + 3X_{3,7,4,2} + 6X_{3,7,5,2} + 15X_{3,4,8,2} + 15X_{3,5,8,2} + 10X_{3,4,11,2} + \\ 10X_{3,5,11,2} + 4X_{3,4,12,2} + 4X_{3,5,12,2} + 8X_{3,9,16,2} + 2X_{3,9,17,2} + 5X_{3,9,18,2} + 2X_{3,9,19,2} + \\ 10X_{3,9,22,2} + 11X_{3,9,25,2} + 7X_{3,9,28,2} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

Multipropósito:

$$4X_{4,6,2,2} + 8X_{4,6,3,2} + 7X_{4,7,1,2} + 4X_{4,7,2,2} + 3X_{4,7,4,2} + 6X_{4,7,5,2} + 10X_{4,1,6,2} + 12X_{4,1,7,2} + \\ 15X_{4,2,8,2} + 15X_{4,3,8,2} + 15X_{4,4,8,2} + 15X_{4,5,8,2} + 6X_{4,1,9,2} + 7X_{4,1,10,2} + 10X_{4,2,11,2} + \\ 10X_{4,3,11,2} + 10X_{4,4,11,2} + 10X_{4,5,11,2} + 4X_{4,1,12,2} + 4X_{4,2,12,2} + 4X_{4,3,12,2} + 4X_{4,4,12,2} + \\ 4X_{4,5,12,2} + 6X_{4,6,13,2} + 4X_{4,9,5,2} + 5X_{4,9,14,2} + 6X_{4,9,15,2} + 8X_{4,9,16,2} + 2X_{4,9,17,2} + \\ 5X_{4,9,18,2} + 2X_{4,9,19,2} + 6X_{4,9,20,2} + 8X_{4,9,21,2} + 10X_{4,9,22,2} + 7X_{4,9,23,2} + 9X_{4,9,24,2} + \\ 11X_{4,9,25,2} + 4X_{4,9,26,2} + 6X_{4,9,27,2} + 7X_{4,9,28,2} + 5X_{4,9,29,2} \leq 1.104 \text{ h/mes}$$

## Viajes Vacíos

### *Equipos propios*

Tanque:

$$X_{1,8,1,1} = X_{1,9,18,1}$$

$$X_{1,8,4,1} = X_{1,9,19,1}$$

Volco:

$$X_{2,6,2,1} + X_{2,9,5,1} = X_{2,1,12,1} + X_{2,2,12,1} + X_{2,3,12,1} + X_{2,6,13,1} + X_{2,9,14,1} + X_{2,9,15,1} + X_{2,9,16,1}$$

$$X_{2,6,3,1} + X_{2,6,13,1} = X_{2,9,5,1} + X_{2,9,26,1} + X_{2,9,27,1} + X_{2,9,28,1} + X_{2,9,29,1}$$

$$X_{2,1,6,1} + X_{2,1,9,1} = X_{2,9,14,1} + X_{2,9,23,1} + X_{2,9,26,1}$$

$$X_{2,1,7,1} + X_{2,1,10,1} = X_{2,9,15,1} + X_{2,9,24,1} + X_{2,9,27,1}$$

$$X_{2,2,8,1} + X_{2,3,8,1} + X_{2,2,11,1} + X_{2,3,11,1} = X_{2,9,16,1} + X_{2,9,25,1} + X_{2,9,28,1}$$

Plataforma:

$$X_{3,7,2,1} + X_{3,7,5,1} + X_{3,9,17,1} = X_{3,4,12,1} + X_{3,5,12,1} + X_{3,9,16,1}$$

$$X_{3,7,1,1} + X_{3,7,4,1} = X_{3,9,17,1} + X_{3,9,18,1} + X_{3,9,19,1} + X_{3,9,22,1}$$

$$X_{3,4,8,1} + X_{3,5,8,1} + X_{3,4,11,1} + X_{3,5,11,1} = X_{3,9,16,1} + X_{3,9,22,1}$$

Multipropósito:

$$X_{4,6,2,1} + X_{4,7,2,1} + X_{4,7,5,1} + X_{4,9,17,1} = X_{4,1,12,1} + X_{4,2,12,1} + X_{4,3,12,1} + X_{4,4,12,1} + X_{4,5,12,1} +$$

$$X_{4,6,13,1} + X_{4,9,14,1} + X_{4,9,15,1} + X_{4,9,16,1}$$

$$X_{4,7,1,1} + X_{4,7,4,1} = X_{4,9,17,1} + X_{4,9,18,1} + X_{4,9,19,1} + X_{4,9,20,1} + X_{4,9,21,1} + X_{4,9,22,1}$$

$$X_{4,6,3,1} + X_{4,6,13,1} = X_{4,9,26,1} + X_{4,9,27,1} + X_{4,9,28,1} + X_{4,9,29,1}$$

$$X_{4,1,6,1} + X_{4,1,9,1} = X_{4,9,14,1} + X_{4,9,20,1} + X_{4,9,23,1} + X_{4,9,26,1}$$

$$X_{4,1,7,1} + X_{4,1,10,1} = X_{4,9,15,1} + X_{4,9,21,1} + X_{4,9,24,1} + X_{4,9,27,1}$$

$$X_{4,2,8,1} + X_{4,3,8,1} + X_{4,4,8,1} + X_{4,5,8,1} + X_{4,2,11,1} + X_{4,3,11,1} + X_{4,4,11,1} + X_{4,5,11,1} = X_{4,9,16,1} + X_{4,9,22,1} + X_{4,9,25,1} + X_{4,9,28,1}$$

### *Equipos alquilados*

Tanque:

$$X_{1,8,1,2} = X_{1,9,18,2}$$

$$X_{1,8,4,2} = X_{1,9,19,2}$$

Volco:

$$X_{2,6,2,2} + X_{2,9,5,2} = X_{2,1,12,2} + X_{2,2,12,2} + X_{2,3,12,2} + X_{2,6,13,2} + X_{2,9,14,2} + X_{2,9,15,2} + X_{2,9,16,2}$$

$$X_{2,6,3,2} + X_{2,6,13,2} = X_{2,9,5,2} + X_{2,9,26,2} + X_{2,9,27,2} + X_{2,9,28,2} + X_{2,9,29,2}$$

$$X_{2,1,6,2} + X_{2,1,9,2} = X_{2,9,14,2} + X_{2,9,23,2} + X_{2,9,26,2}$$

$$X_{2,1,7,2} + X_{2,1,10,2} = X_{2,9,15,2} + X_{2,9,24,2} + X_{2,9,27,2}$$

$$X_{2,2,8,2} + X_{2,3,8,2} + X_{2,2,11,2} + X_{2,3,11,2} = X_{2,9,16,2} + X_{2,9,25,2} + X_{2,9,28,2}$$

Plataforma:

$$X_{3,7,2,2} + X_{3,7,5,2} + X_{3,9,17,2} = X_{3,4,12,2} + X_{3,5,12,2} + X_{3,9,16,2}$$

$$X_{3,7,1,2} + X_{3,7,4,2} = X_{3,9,17,2} + X_{3,9,18,2} + X_{3,9,19,2} + X_{3,9,22,2}$$

$$X_{3,4,8,2} + X_{3,5,8,2} + X_{3,4,11,2} + X_{3,5,11,2} = X_{3,9,16,2} + X_{3,9,22,2}$$

Multipropósito:

$$X_{4,6,2,2} + X_{4,7,2,2} + X_{4,7,5,2} + X_{4,9,17,2} = X_{4,1,12,2} + X_{4,2,12,2} + X_{4,3,12,2} + X_{4,4,12,2} + X_{4,5,12,2} + X_{4,6,13,2} + X_{4,9,14,2} + X_{4,9,15,2} + X_{4,9,16,2}$$

$$\begin{aligned}
X_{4,7,1,2} + X_{4,7,4,2} &= X_{4,9,17,2} + X_{4,9,18,2} + X_{4,9,19,2} + X_{4,9,20,2} + X_{4,9,21,2} + X_{4,9,22,2} \\
X_{4,6,3,2} + X_{4,6,13,2} &= X_{4,9,26,2} + X_{4,9,27,2} + X_{4,9,28,2} \\
X_{4,1,6,2} + X_{4,1,9,2} &= X_{4,9,14,2} + X_{4,9,20,2} + X_{4,9,23,2} + X_{4,9,26,2} \\
X_{4,1,7,2} + X_{4,1,10,2} &= X_{4,9,15,2} + X_{4,9,21,2} + X_{4,9,24,2} + X_{4,9,27,2} \\
X_{4,2,8,2} + X_{4,3,8,2} + X_{4,4,8,2} + X_{4,5,8,2} + X_{4,2,11,2} + X_{4,3,11,2} + X_{4,4,11,2} + X_{4,5,11,2} &= X_{4,9,16,2} + \\
X_{4,9,22,2} + X_{4,9,25,2} + X_{4,9,28,2}
\end{aligned}$$

## Almacenamientos

### MP1 Granel

$$\begin{aligned}
32X_{2,1,12,1} + 32X_{2,1,12,2} + 32X_{2,1,12,3} + 34X_{4,1,12,1} + 34X_{4,1,12,2} + 34X_{4,1,12,3} &\leq 32X_{2,1,9,1} + \\
32X_{2,1,9,2} + 32X_{2,1,9,3} + 34X_{4,1,9,1} + 34X_{4,1,9,2} + 34X_{4,1,9,3} + 32X_{2,1,10,1} + 32X_{2,1,10,2} + \\
32X_{2,1,10,3} + 34X_{4,1,10,1} + 34X_{4,1,10,2} + 34X_{4,1,10,3}
\end{aligned}$$

### MP2 Granel

$$\begin{aligned}
32X_{2,2,12,1} + 32X_{2,2,12,2} + 32X_{2,2,12,3} + 34X_{4,2,12,1} + 34X_{4,2,12,2} + 34X_{4,2,12,3} &\leq 32X_{2,2,11,1} \\
+ 32X_{2,2,11,2} + 32X_{2,2,11,3} + 34X_{4,2,11,1} + 34X_{4,2,11,2} + 34X_{4,2,11,3}
\end{aligned}$$

### MP3 Granel

$$\begin{aligned}
32X_{2,3,12,1} + 32X_{2,3,12,2} + 32X_{2,3,12,3} + 34X_{4,3,12,1} + 34X_{4,3,12,2} + 34X_{4,3,12,3} &\leq 32X_{2,3,11,1} \\
+ 32X_{2,3,11,2} + 32X_{2,3,11,3} + 34X_{4,3,11,1} + 34X_{4,3,11,2} + 34X_{4,3,11,3}
\end{aligned}$$

### MP2 en Big Bags

$$\begin{aligned}
32X_{3,4,12,1} + 32X_{3,4,12,2} + 32X_{3,4,12,3} + 34X_{4,4,12,1} + 34X_{4,4,12,2} + 34X_{4,4,12,3} &\leq 32X_{3,4,11,1} \\
+ 32X_{3,4,11,2} + 32X_{3,4,11,3} + 34X_{4,4,11,1} + 34X_{4,4,11,2} + 34X_{4,4,11,3}
\end{aligned}$$

### MP3 en Big Bags

$$32X_{3,5,12,1} + 32X_{3,5,12,2} + 32X_{3,5,12,3} + 34X_{4,5,12,1} + 34X_{4,5,12,2} + 34X_{4,5,12,3} \leq 32X_{3,5,11,1} + 32X_{3,5,11,2} + 32X_{3,5,11,3} + 34X_{4,5,11,1} + 34X_{4,5,11,2} + 34X_{4,5,11,3}$$

### PI

$$32X_{2,6,13,1} + 32X_{2,6,13,2} + 32X_{2,6,13,3} + 34X_{4,6,13,1} + 34X_{4,6,13,2} + 34X_{4,6,13,3} \leq 32X_{2,6,2,1} + 32X_{2,6,2,2} + 32X_{2,6,2,3} + 34X_{4,6,2,1} + 34X_{4,6,2,2} + 34X_{4,6,2,3}$$

### Almacenamiento MP1

$$A1 = ( 32X_{2,1,9,1} + 32X_{2,1,9,2} + 32X_{2,1,9,3} + 34X_{4,1,9,1} + 34X_{4,1,9,2} + 34X_{4,1,9,3} + 32X_{2,1,10,1} + 32X_{2,1,10,2} + 32X_{2,1,10,3} + 34X_{4,1,10,1} + 34X_{4,1,10,2} + 34X_{4,1,10,3} ) - ( 32X_{2,1,12,1} + 32X_{2,1,12,2} + 32X_{2,1,12,3} + 34X_{4,1,12,1} + 34X_{4,1,12,2} + 34X_{4,1,12,3} )$$

### Almacenamiento MP2

$$A2 = ( 32X_{2,2,11,1} + 32X_{2,2,11,2} + 32X_{2,2,11,3} + 34X_{4,2,11,1} + 34X_{4,2,11,2} + 34X_{4,2,11,3} ) - ( 32X_{2,2,12,1} + 32X_{2,2,12,2} + 32X_{2,2,12,3} + 34X_{4,2,12,1} + 34X_{4,2,12,2} + 34X_{4,2,12,3} )$$

### Almacenamiento MP3

$$A3 = ( 32X_{2,3,11,1} + 32X_{2,3,11,2} + 32X_{2,3,11,3} + 34X_{4,3,11,1} + 34X_{4,3,11,2} + 34X_{4,3,11,3} ) - ( 32X_{2,3,12,1} + 32X_{2,3,12,2} + 32X_{2,3,12,3} + 34X_{4,3,12,1} + 34X_{4,3,12,2} + 34X_{4,3,12,3} )$$

### Almacenamiento MP2 BB

$$A4 = ( 32X_{3,4,11,1} + 32X_{3,4,11,2} + 32X_{3,4,11,3} + 34X_{4,4,11,1} + 34X_{4,4,11,2} + 34X_{4,4,11,3} ) - ( 32X_{3,4,12,1} + 32X_{3,4,12,2} + 32X_{3,4,12,3} + 34X_{4,4,12,1} + 34X_{4,4,12,2} + 34X_{4,4,12,3} )$$

### Almacenamiento MP3 BB

$$A5 = ( 32X_{3,5,11,1} + 32X_{3,5,11,2} + 32X_{3,5,11,3} + 34X_{4,5,11,1} + 34X_{4,5,11,2} + 34X_{4,5,11,3} ) - (32X_{3,5,12,1} + 32X_{3,5,12,2} + 32X_{3,5,12,3} + 34X_{4,5,12,1} + 34X_{4,5,12,2} + 34X_{4,5,12,3} )$$

### Almacenamiento PI

$$A6 = (32X_{2,6,2,1} + 32X_{2,6,2,2} + 32X_{2,6,2,3} + 34X_{4,6,2,1} + 34X_{4,6,2,2} + 34X_{4,6,2,3}) - (32X_{2,6,13,1} + 32X_{2,6,13,2} + 32X_{2,6,13,3} + 34X_{4,6,13,1} + 34X_{4,6,13,2} + 34X_{4,6,13,3})$$

## CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

### 6. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de los modelos matemáticos desarrollados es encontrar la asignación de la flota vehicular que cause el menor costo total de transporte de carga.

La herramienta utilizada para el desarrollo de los modelos matemáticos es el software GAMS, el cual es propiedad de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

Con el fin de agilizar el proceso de interpretación de los resultados suministrados por el software GAMS, se desarrollaron unos formatos, diseñados para esta labor.

Los formatos suministran toda la información relacionada con una variable específica, y disponen de un sistema de filtros que permiten seleccionar la combinación de interés. También fueron definidas las siguientes convenciones para las variables de los modelos:

**Tabla 28** Convenciones del formato de interpretación de resultados

Color	Convención
	Variable básica
	Variable no básica

Por ejemplo, si el encargado de la interpretación de los resultados desea conocer todos los detalles del proceso de asignación de los vehículos encargados del suministro de PT2, debe seleccionar esta combinación en el sistema de filtros del formato de resultados. La figura 6-1 presenta la vista del formato de resultados para este caso específico.



**Figura 3 Formato de interpretación de resultados**

Vble	Sln. (Viajes)	Costo (\$ / viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X1,8,1,1	92	304.855	2.944	28.046.660	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI B/tá	Propios
X1,8,1,2	46	331.687	1.472	15.257.602	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI B/tá	Alquilados
X1,8,1,3	18	1.093.031	576	19.674.558	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI B/tá	Contratista
X1,8,3,1	0	100.126	0	0	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI B/tá	Propios
X1,8,3,2	0	125.031	0	0	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI B/tá	Alquilados
X1,8,3,3	48	416.000	1.536	19.968.000	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI B/tá	Contratista
X1,9,14,1	92	100.000	N/A	9.200.000	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Propios
X1,9,14,2	46	125.000	N/A	5.750.000	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Alquilados
X1,9,15,1	0	50.000	N/A	0	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Propios
X1,9,15,2	0	70.000	N/A	0	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Alquilados

La primera columna de izquierda a derecha, indica la combinación de índices que definen la variable. La segunda columna presenta la solución de cada variable, indicando el número de viajes a realizar mediante un tipo de contenedor, movilizand una mercancía determinada en una ruta específica, mediante equipos propios, alquilados o del contratista. Sin embargo, este resultado no proporciona información sobre el número de toneladas a movilizar, por lo tanto, es necesario especificar esta información en la cuarta columna.

Las tercera columna presenta el costo relacionado con cada variable y la quinta, u contribución a la función objetivo (costo total de transporte) según la solución obtenida, respectivamente. Las demás columnas describen los subíndices que caracterizan a las variables.

Una vez fue enseñada y descrita la herramienta de interpretación de los resultados obtenidos con los modelos matemáticos, es necesario proceder con la presentación formal de estos resultados.

Los resultados son presentados de manera independiente para cada una de las estrategias logísticas planteadas por ERCO S.A.

### 6.1. Estrategia 1

El valor de la función objetivo para el modelo 1, indica un costo mensual de transporte equivalente a doscientos ochenta y tres millones cuatrocientos cincuenta y siete mil novecientos ochenta y ocho pesos (\$283'457.988).

La asignación óptima de flota vehicular para la estrategia 1 se presenta en un formato de resumen de la información obtenida mediante el modelo de programación lineal entera pura, desarrollado con el software GAMS.

**Tabla 29** Resultados del modelo 1

Carga	Contenedor	RUTA		N° VIAJES		
		Origen	Destino	Eq. Propios	Eq. Alquilados	Contratista
MP1	Volco	Proveedor A	Planta 1	1	0	0
		Proveedor B	Planta 1	8	0	0
	Multipropósito	Proveedor A	Planta 1	52	0	0
		Proveedor B	Planta 1	0	0	0
MP2	Volco	Proveedor C	Planta 1	9	0	0
	Multipropósito			16	0	0
MP3	Volco	Proveedor C	Planta 1	5	0	0

Carga	Contenedor	RUTA		N° VIAJES		
		Origen	Destino	Eq. Propios	Eq. Alquilados	Contratista
MP3	Multipropósito	Proveedor C	Planta 1	16	0	0
MP2 BB	Plataforma	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
	Multipropósito			16	0	0
MP3 BB	Plataforma	Proveedor C	Planta 1	15	0	0
MP3 BB	Multipropósito	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
PI	Volco	Planta 1	Planta 2	23	0	0
PI	Multipropósito	C.A.	Planta 2	16	0	0
PT1	Plataforma	Planta 1	CEDI B/tá	0	0	0
	Multipropósito			71	0	0
	Plataforma	Planta 2	CEDI B/tá	23	0	0
	Multipropósito			13	0	0
PT2	Tanque	Planta 1	CEDI B/tá	92	46	18
		Planta 2	CEDI B/tá	0	0	48
<b>Viajes Vacios</b>	Tanque	CEDI B/tá	Planta 1	92	46	N/A
		CEDI B/tá	Planta 2	0	0	N/A
	Volco	Planta 1	Proveedor A	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor B	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor C	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor A	1	0	N/A
		Planta 2	Proveedor B	8	0	N/A
		Planta 2	Proveedor C	14	0	N/A
		Planta 2	Planta 1	0	0	N/A
	Plataforma	Planta 1	Proveedor C	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor C	0	0	N/A
		CEDI B/tá	Planta 1	0	0	N/A
		CEDI B/tá	Planta 2	8	0	N/A
		CEDI B/tá	Proveedor C	15	0	N/A
	Multipropósito	Planta 1	Proveedor A	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor B	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor C	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor A	0	0	N/A

Carga	Contenedor	RUTA		N° VIAJES		
		Origen	Destino	Eq. Propios	Eq. Alquilados	Contratista
Viajes vacíos	Multipropósito	Planta 2	Proveedor B	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor C	16	0	N/A
		Planta 2	Planta 1	0	0	N/A
		CEDI B/tá	Planta 1	0	0	N/A

## 6.2. Estrategia 2

El valor de la función objetivo para el modelo 2, indica un costo mensual de transporte equivalente a doscientos treinta y tres millones doscientos cuarenta y nueve mil novecientos catorce pesos (\$233'249.914).

La asignación óptima de flota vehicular se presenta mediante el mismo formato utilizado para los resultados de la estrategia 1.

**Tabla 30** Resultados del modelo 2

Carga	Contenedor	RUTA		N° VIAJES		
		Origen	Destino	Eq. Propios	Eq. Alquilados	Contratista
MP1	Volco	Proveedor A	Planta 1	0	0	0
		Proveedor A	C.A.	0	0	0
		Proveedor B	Planta 1	0	0	0
		Proveedor B	C.A.	12	0	0
		C.A.	Planta 1	29	0	0
	Multipropósito	Proveedor A	Planta 1	0	0	0
		Proveedor A	C.A.	49	0	0
		Proveedor B	Planta 1	0	0	0
		Proveedor B	C.A.	0	0	0

Carga	Contenedor	RUTA		N° VIAJES		
		Origen	Destino	Eq. Propios	Eq. Alquilados	Contratista
MP1	Multipropósito	C.A.	Planta 1	33	0	0
MP2	Volco	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	6	0	0
		C.A.	Planta 1	6	0	0
	Multipropósito	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	19	0	0
		C.A.	Planta 1	19	0	0
MP3	Volco	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	5	0	0
		C.A.	Planta 1	5	0	0
	Multipropósito	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	16	0	0
		C.A.	Planta 1	16	0	0
MP2 BB	Plataforma	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	17	0	0
		C.A.	Planta 1	0	0	0
	Multipropósito	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	0	0	0
		C.A.	Planta 1	16	0	0
MP3 BB	Plataforma	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	15	0	0
		C.A.	Planta 1	15	0	0
	Multipropósito	Proveedor C	Planta 1	0	0	0
		Proveedor C	C.A.	0	0	0
		C.A.	Planta 1	0	0	0
PI	Volco	Planta 1	C.A.	40	0	0
		Planta 1	Planta 2	0	0	0
		C.A.	Planta 2	40	0	0
	Multipropósito	Planta 1	C.A.	0	0	0
		Planta 1	Planta 2	0	0	0
		C.A.	Planta 2	0	0	0
PT1	Plataforma	Planta 1	Bogotá	0	0	0

Carga	Contenedor	RUTAS		N° VIAJES		
		Origen	Destino	Eq. Propios	Eq. Alquilados	Contratista
PT1	Plataforma	Planta 1	C.A.	5	0	0
		Planta 2	Bogotá	10	0	0
		Planta 2	C.A.	0	0	0
	Multipropósito	Planta 1	Bogotá	4	0	0
		Planta 1	C.A.	64	0	0
		Planta 2	Bogotá	16	0	0
		Planta 2	C.A.	0	0	0
PT2	Tanque	Planta 1	Bogotá	92	46	18
		Planta 2	Bogotá	0	0	48
Viajes Vacíos	Tanque	Bogotá	Planta 1	92	46	N/A
		Bogotá	Planta 2	0	0	N/A
	Volco	Planta 2	C.A.	40	0	N/A
		C.A.	Proveedor A	0	0	N/A
		C.A.	Proveedor B	0	0	N/A
		C.A.	Proveedor C	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor A	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor B	12	0	N/A
		Planta 1	Proveedor C	11	0	N/A
		Planta 2	Proveedor A	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor B	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor C	0	0	N/A
		Planta 2	Planta 1	0	0	N/A
		Plataforma	C.A.	Proveedor C	0	0
	Bogotá		C.A.	10	0	N/A
	Bogotá		Planta 1	0	0	N/A
	Bogotá		Planta 2	0	0	N/A
	Bogotá		Proveedor C	0	0	N/A
	Planta 1		Proveedor C	0	0	N/A
	Planta 2		Proveedor C	32	0	N/A
	Multipropósito	Planta 2	C.A.	0	0	N/A
		C.A.	Proveedor A	49	0	N/A
		C.A.	Proveedor B	0	0	N/A

Carga	Contenedor	RUTA		N° VIAJES		
		Origen	Destino	Eq. Propios	Eq. Alquilados	Contratista
Viajes Vacíos	Multipropósito	C.A.	Proveedor C	0	0	N/A
		Bogotá	C.A.	20	0	N/A
		Bogotá	Planta 1	0	0	N/A
		Bogotá	Planta 2	0	0	N/A
		Bogotá	Proveedor A	0	0	N/A
		Bogotá	Proveedor B	0	0	N/A
		Bogotá	Proveedor C	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor A	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor B	0	0	N/A
		Planta 1	Proveedor C	35	0	N/A
		Planta 2	Proveedor A	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor B	0	0	N/A
		Planta 2	Proveedor C	0	0	N/A
		Planta 2	Planta 1	0	0	N/A

### 6.3. Comparación de las estrategias logísticas

La comparación de las estrategias logísticas parte de los resultados obtenidos con los modelos matemáticos diseñados para cada estrategia, evaluando dichos resultados, en términos de costos totales de transporte para un determinado periodo de tiempo.

Los resultados obtenidos indican los siguientes costos totales de transporte para un periodo de un mes:

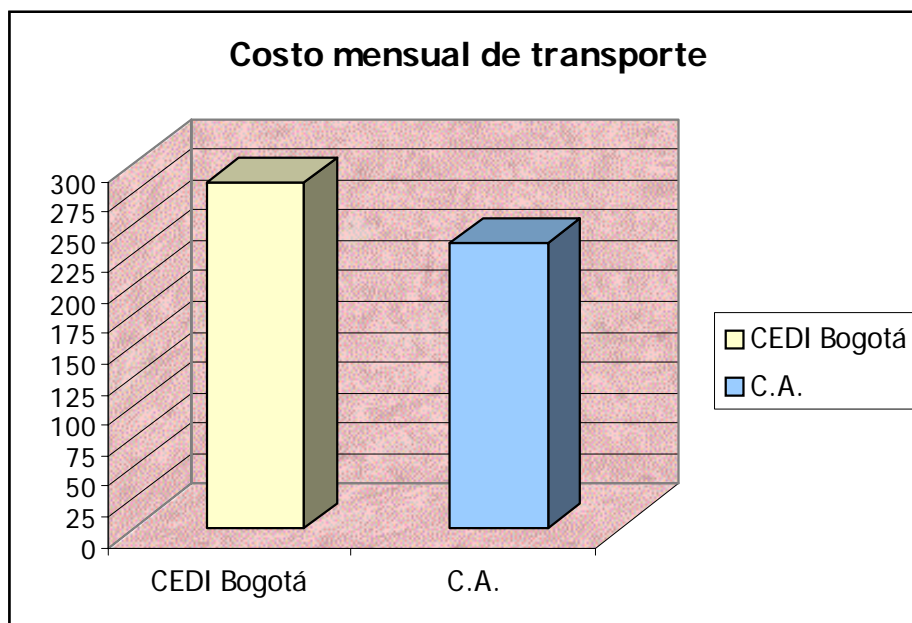
**Tabla 31** Costos mensuales de transporte

Estrategia logística	Costo total de transporte
CEDI Bogotá	283'457.988
Centro de Acopio	233'249.914

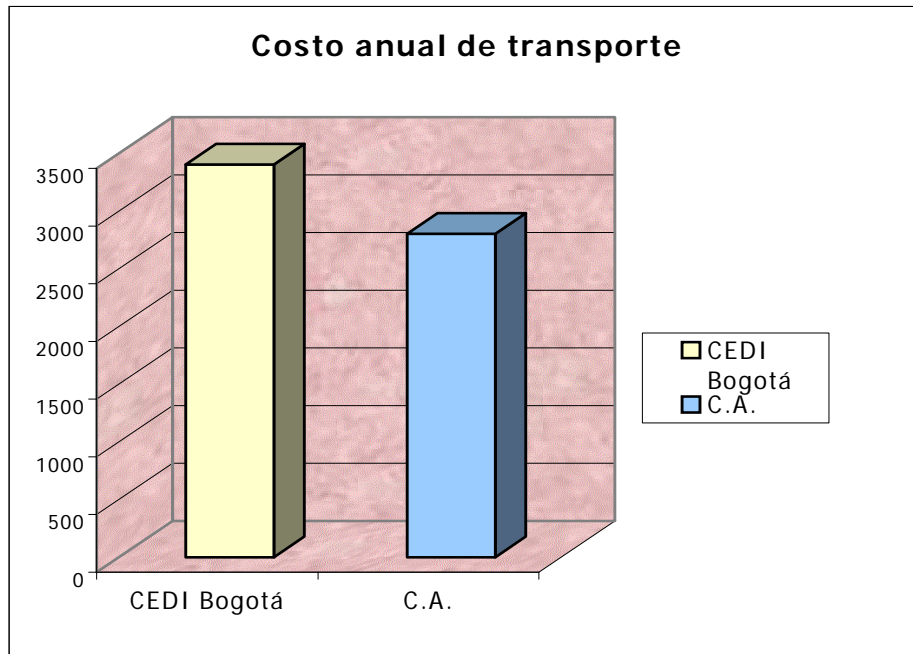
El C.A. representaría ahorros mensuales de cincuenta millones doscientos ocho mil setenta y cuatro pesos (\$50'208.074). Esta información confirma las bondades de esta estrategia, las cuales fueron sugeridas la comienzo del proyecto, como resultado de un estudio técnico previamente desarrollado por la empresa.

Con el fin de aclarar la tendencia de reducción de costos, como resultado de la implementación del centro de acopio, se presentan las gráficas 6-1 y 6-2, las cuales presentan los costos de transporte obtenidos como resultado de la implementación de las dos estrategias logísticas propuestas por la empresa, para periodos de un mes y un año respectivamente.

**Gráfica 1** Costo mensual de transporte



**Gráfica 2** Costo anual de transporte



La implementación del centro de acopio representaría un ahorro anual en el costo de transporte equivalente a seiscientos dos millones cuatrocientos noventa y seis mil ochocientos ochenta y ocho pesos (\$602'496.288).

#### **6.4. Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad se desarrollará con el fin de comparar las dos estrategias logísticas propuestas por la empresa, y evaluar las características distintivas de cada una de éstas; mediante la observación del costo total de transporte obtenido al evaluar los modelos en diferentes escenarios.

A pesar de que los equipos propios y alquilados tienen una ventaja en costos respecto al servicio de transporte prestado por los contratistas, también presentan

algunas desventajas respecto a esta última opción, debido a que manejan viajes vacíos e implican una serie de gastos operativos y administrativos. Teniendo en cuenta estas razones, la empresa ERCO S.A. está interesada en averiguar que tan rentable puede ser liberar la flota propia o alquilada, o bien, liberar toda la flota disponible y dejar todo en manos de los contratistas de transporte. Estas posibles alternativas de decisión definen los primeros tres (3) escenarios del análisis de sensibilidad.

Los altos índices de tiempos muertos y viajes no compensados, y la baja utilización de los equipos propios y alquilados, conllevan al siguiente interrogante: ¿ Una óptima asignación de los equipos propios y alquilados disponibles permitiría liberar equipos propios y alquilados sin afectar el desempeño del proceso de transporte de carga?. Ante este interrogante, surge el cuarto escenario, el cual sugiere liberar equipos propios y alquilados, y observar el efecto de esta acción en el valor de la función objetivo de los modelos de asignación de flota vehicular.

El objetivo del cuarto escenario es encontrar la combinación óptima de transporte para cada estrategia logística, dicha combinación está definida por el número de vehículos propios y alquilados con que la empresa dispone actualmente, sin embargo, es posible que la empresa necesite más vehículos de un tipo de contenedor, de los que tiene actualmente, razón por la cual, es necesario determinar cuales con los contenedores de mayor participación en el proceso de transporte de carga y evaluar que pasaría si la empresa opta por la compra o alquiler de uno o más de dichos contenedores. Éste vendría a ser el quinto y último escenario del análisis de sensibilidad.

El listado de escenarios se puede apreciar en la tabla 32.

**Tabla 32** Listado de escenarios

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	¿ Qué pasa si la empresa vende todos los equipos propios?
<b>2</b>	¿ Qué pasa si ERCO S.A. cancela el contrato de todos los vehículos alquilados?
<b>3</b>	¿ Qué pasa si la empresa decide liberar la flota propia y alquilada disponible y dejar el proceso de transporte de carga en manos del contratista?
<b>4</b>	¿Cuál sería el efecto de la liberación de algunos vehículos propios y alquilados en el costo mensual de transporte de carga?
<b>5</b>	¿ La compra o alquiler de vehículos de transporte de carga reduciría los costos operativos de este proceso??

El análisis de sensibilidad se desarrollará independientemente para cada estrategia logística, es decir, para el modelo 1 y el modelo 2. En el desarrollo del análisis de sensibilidad, las cifras correspondientes a los costos mensuales de transporte, serán presentadas en millones de pesos.

#### **6.4.1. Escenario 1**

Los equipos propios de transporte representan costos muy altos para la empresa, por concepto de cargas prestacionales, combustible, pago de peajes, pago de seguros, mantenimiento, limpieza de los vehículos, siniestralidad, etc.

La liberación de los vehículos propios reduciría el costo de capital de la empresa y le permitiría destinar el dinero utilizado para la operación de estos vehículos, para diversas inversiones. Por esta razón, la empresa desea saber qué pasaría con el costo de transporte si decide vender todos los vehículos propios disponibles.

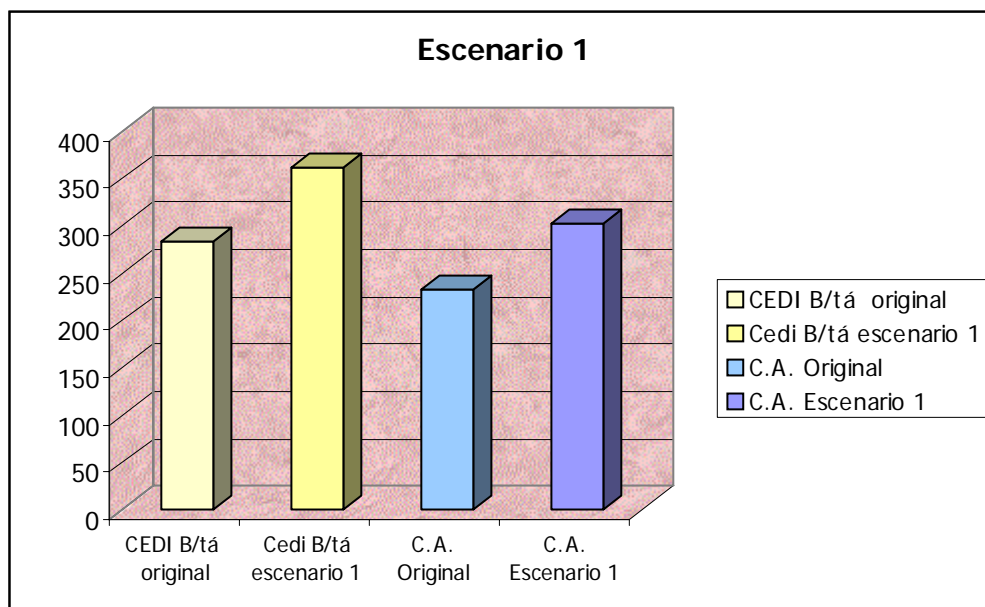
Un posible cliente está interesado en pagar sesenta y ocho millones de pesos por cada vehículo propio que ERCO S.A. pueda venderle. En caso de cerrar esta negociación, la empresa invertiría el dinero recibido en un CDT que rentaría a una tasa de 15,2% efectivo anual. De esta manera, el ajuste al costo mensual de transporte sería el siguiente:

**Tabla 33** Ajuste por liberación de flota propia

N° vehículos propios disponibles actualmente	Ajuste por vehículo	Ajuste por liberación de equipos propios
13	\$861.333	11'197.329

En este escenario, así como en el cuarto y quinto, se comparan los resultados originales de los modelos con las modificaciones que propone el escenario en cuestión.

**Gráfica 3** Escenario 1



La venta de todos los equipos propios de la empresa incrementaría significativamente los costos de transporte, independiente de cual sea la estrategia logística implementada en la empresa. No es recomendable vender todos los vehículos propios.

#### 6.4.2. Escenario 2

La empresa que alquila los vehículos de transporte a ERCO S.A. tiene una tarifa de catorce millones treinta mil pesos(\$14'030.000) al mes para cualquier tipo de contenedor. Además del alquiler, los vehículos alquilados presentan los mismos costos operativos de los equipos propios, tal como las cargas prestacionales de los transportistas, combustible, pago de peajes, pago de seguros, siniestralidad, mantenimiento de los vehículos y limpieza de los mismos, entre otros.

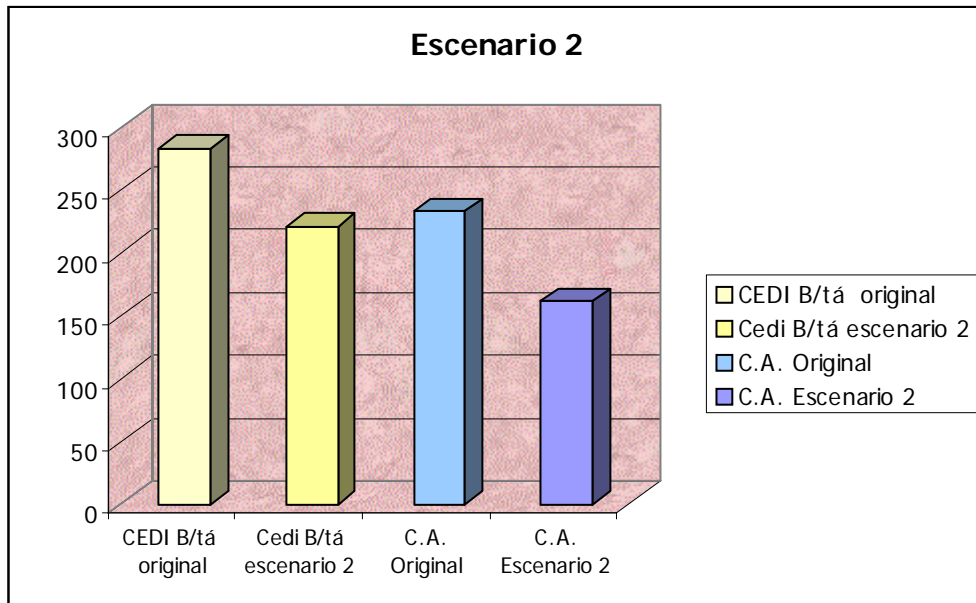
ERCO S.A. está considerando la opción de cancelar el contrato de los equipos que actualmente tiene alquilados, pero antes debe conocer que podría pasar con el costo total de transporte de carga.

Para este escenario, es necesario definir un ajuste al costo de transporte, debido a que ERCO S.A. no tendría que seguir incurriendo en los costos mensuales de alquiler de los siete (7) equipos con que cuenta actualmente.

**Tabla 34** Ajuste por liberación de flota alquilada

N° vehículos alquilados disponibles actualmente	Tarifa mensual de alquiler	Ajuste por liberación de equipos alquilados
7	\$14'030.000	\$98'210.000

**Gráfica 4** Escenario 2



Para las dos estrategias logísticas, la cancelación del contrato de todos los vehículos alquilados reduciría los costos de transporte, por lo tanto, sería recomendable cancelar el contrato de alquiler de estos equipos.

### 6.4.3. Escenario 3

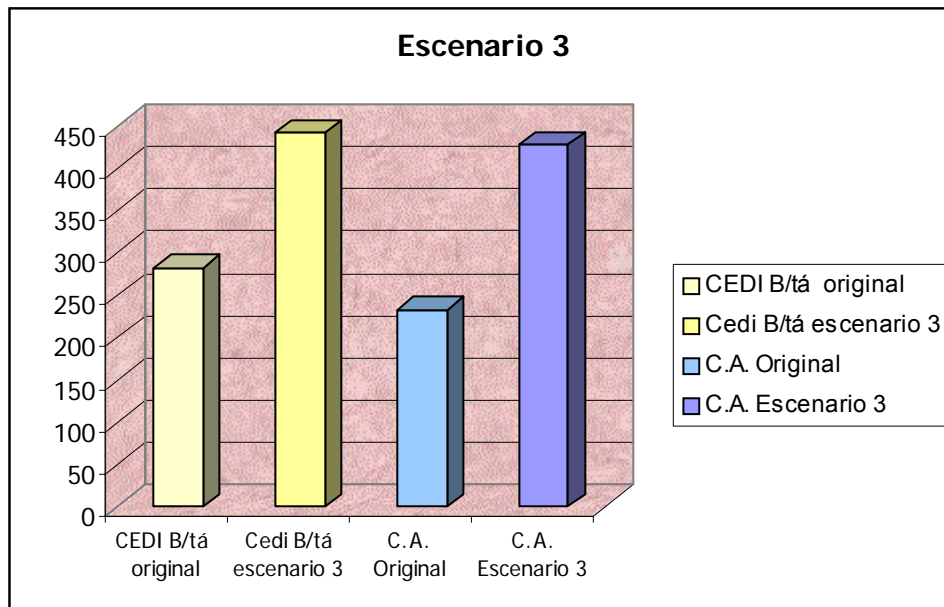
Una vez conocidos los inconvenientes de los equipos propios y alquilados, ERCO S.A. está interesada en conocer el costo de realizar el proceso de distribución de suministros mediante equipos de contratista.

Para este escenario, también es necesario definir un ajuste al costo mensual de transporte, por concepto de la liberación de la flota vehicular propia y alquilada.

**Tabla 35** Ajuste por liberación de flota propia y alquilada

Propiedad de los equipos de transporte	N° vehículos disponibles	Ajuste por vehículo	Ajuste por liberación de flota
Propios	13	\$861.333	\$11'197.329
Alquilados	7	\$14'030.000	\$98.210.000

**Gráfica 5** Escenario 3



La alternativa de vender los equipos propios y cancelar los alquilados, para dejar todo el proceso de transporte de carga, no es recomendable, debido a que incrementaría los costos de transporte alrededor de un 56% respecto al valor de la función objetivo original de la estrategia 1, y un 83% respecto a la solución original de la estrategia 2. No es recomendable dejar todo en manos de los contratistas.

#### 6.4.4. Escenario 4

El objetivo de este escenario es identificar la combinación óptima de transporte para cada estrategia logística, es decir, el número de vehículos propios y alquilados requeridos para un correcto funcionamiento de la red de distribución. También se necesita observar el nivel de participación de un tipo de contenedor específico en el proceso de transporte y su efecto en el costo total de dicho proceso.

Teniendo en cuenta las características distintivas de los diferentes tipos de contenedor y de los costos de transporte según la propiedad de los equipos destinados para este proceso, el análisis de sensibilidad para este escenario se desarrollará independiente para cada tipo de contenedor, y para los equipos propios y alquilados. Las gráficas que se presentarán, permiten apreciar las variaciones en el costo mensual de transporte.

La metodología a seguir en el desarrollo del análisis de sensibilidad para el presente escenario consiste en la presentación de dos gráficas que indican la variación en el costo de transporte para un contenedor específico, modificando el número de vehículos propios y alquilados; estas gráficas corresponden a la estrategia 1 y siguen otras dos correspondientes a la estrategia 2, y así sucesivamente.

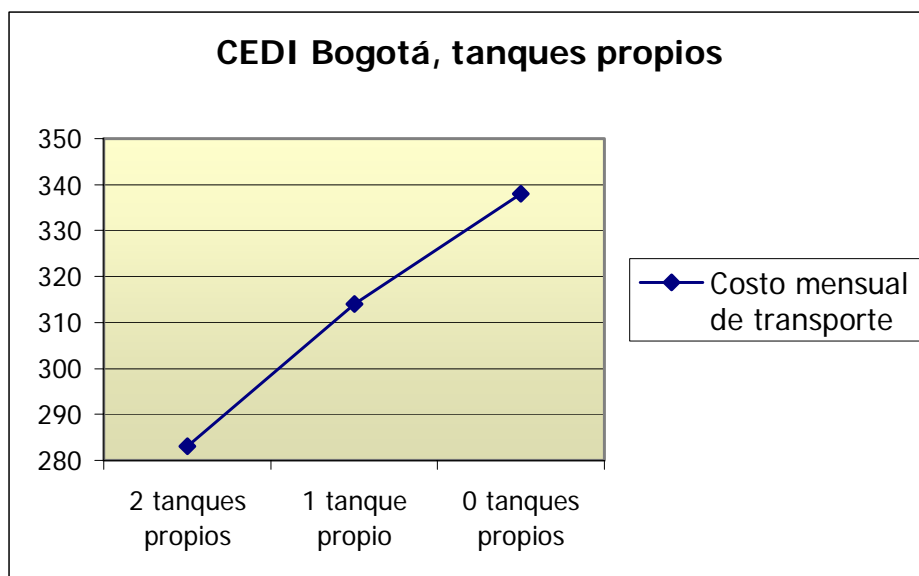
La liberación de un equipo de transporte propio o alquilado, genera una reducción en el costo de transporte, debido a que la empresa ya no incurriría en el costo de mantener ese activo propio, o bien, de alquilar dicho vehículo. Por esta razón, es necesario definir un valor de ajuste al costo mensual de transporte, por concepto de recuperación de capital.

Un posible cliente estaría dispuesto a pagar sesenta y ocho millones de pesos por los equipos propios que ERCO S.A. decida venderle. El dinero recibido por este concepto sería invertido en un CDT, que rentaría a una tasa de 15,2% efectivo anual. La empresa que alquila los vehículos de transporte a ERCO S.A., tiene una tarifa mensual de catorce millones treinta mil pesos (14'030.000). En este orden de ideas, las cuotas mensuales de ajuste por recuperación de capital son:

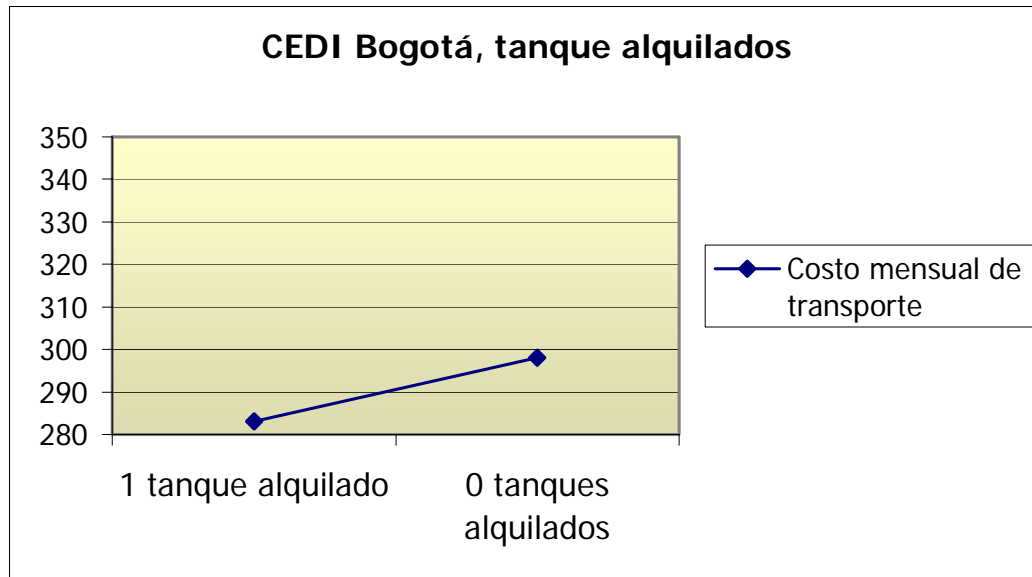
**Tabla 36** Ajuste por liberación de equipos propios y alquilados

Propiedad de los equipos de transporte	Ajuste (\$/mes)
Propios	861.333
Alquilados	14'030.000

**Gráfica 6** CEDI Bogotá, tanques propios

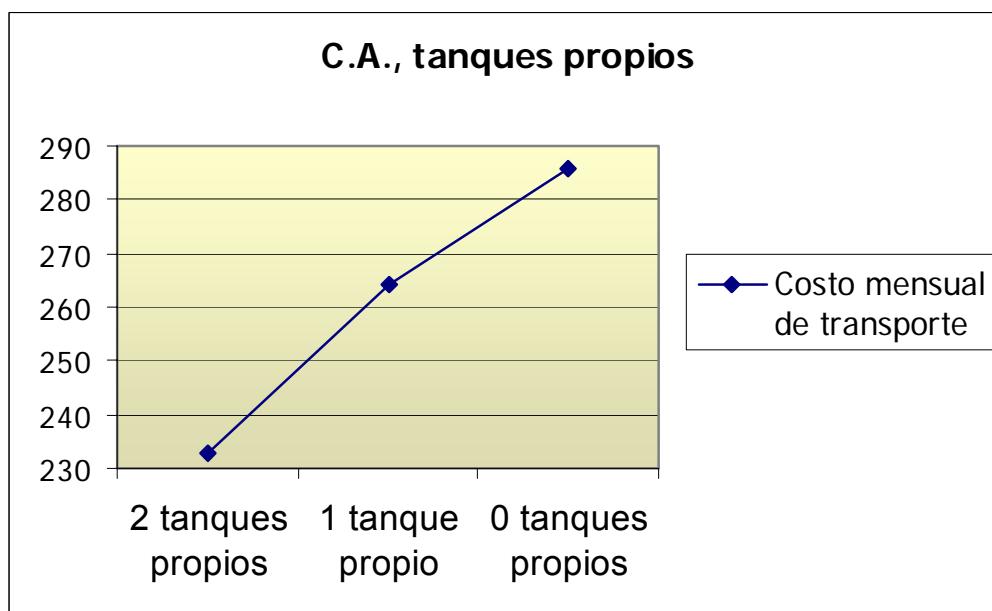


**Gráfica 7** CEDI Bogotá, tanques alquilados

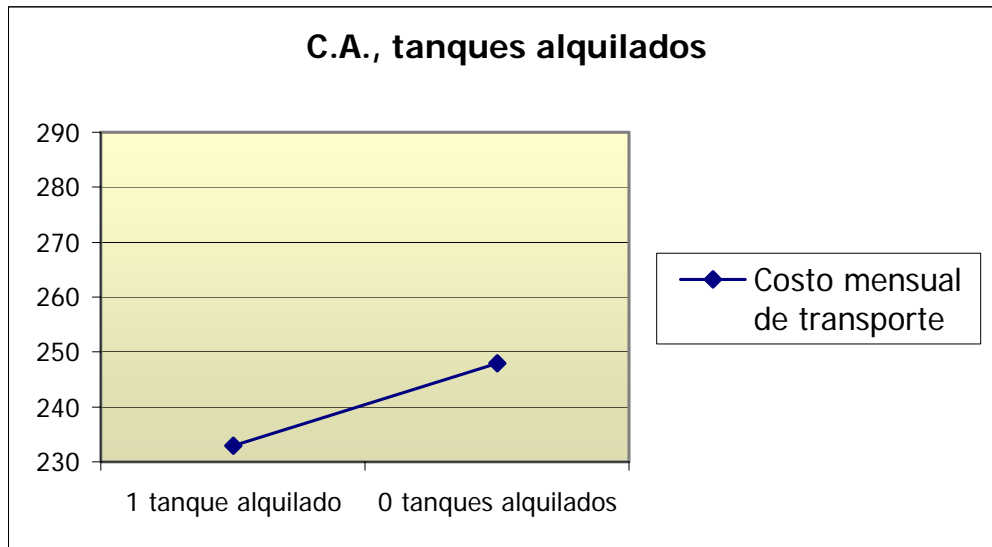


El número óptimo de vehículos tanque para la estrategia 1 es: dos (2) propios y uno (1) alquilado.

**Gráfica 8** C.A., tanques propios

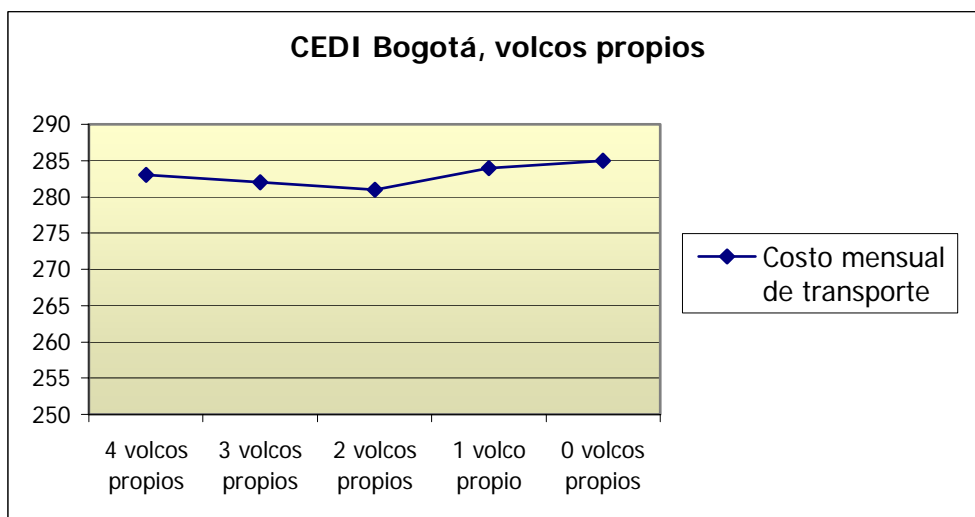


**Gráfica 9** C.A., tanques alquilados

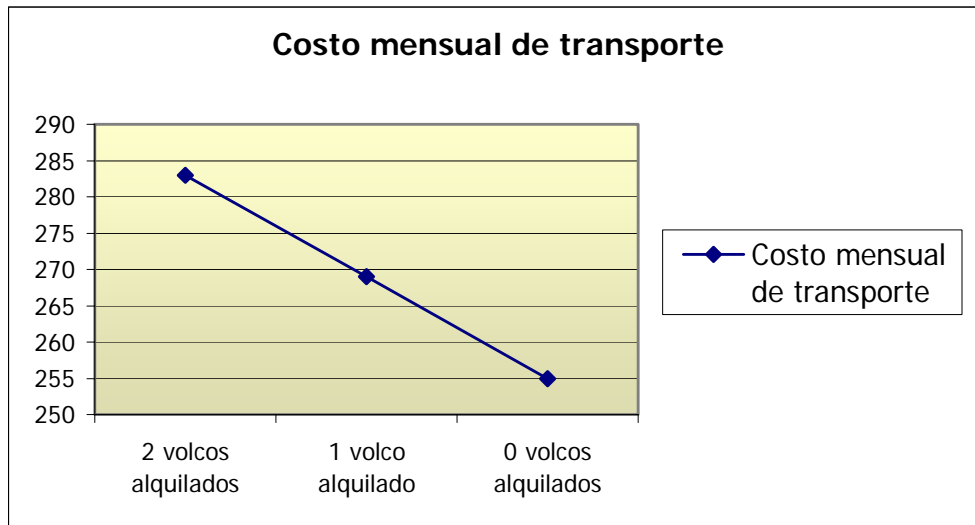


El número óptimo de contenedores tipo tanque para la estrategia 2 es: dos (2) propios y uno (1) alquilado.

**Gráfica 10** CEDI Bogotá, volcos propios

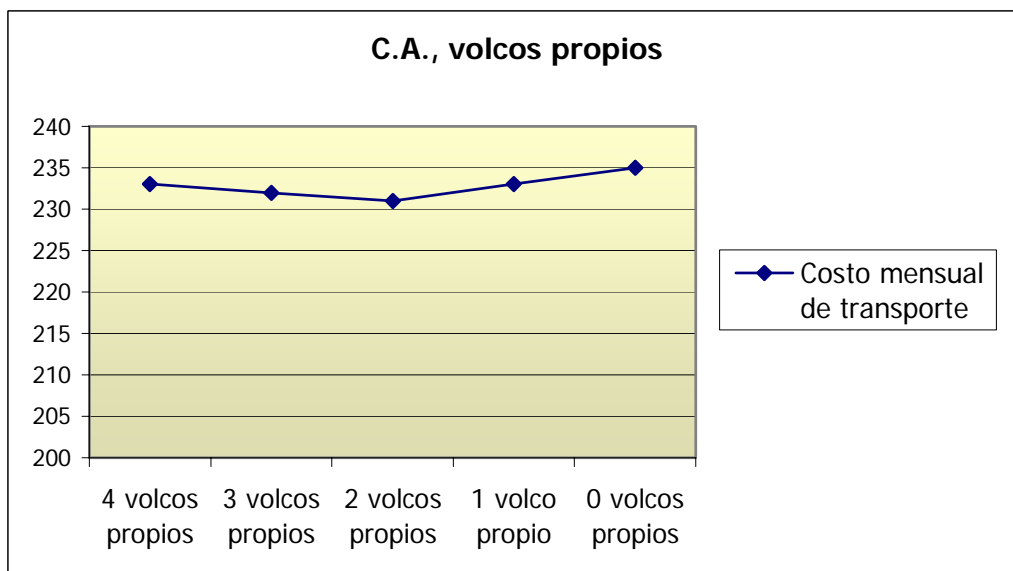


**Gráfica 11** CEDI Bogotá, volcos alquilados

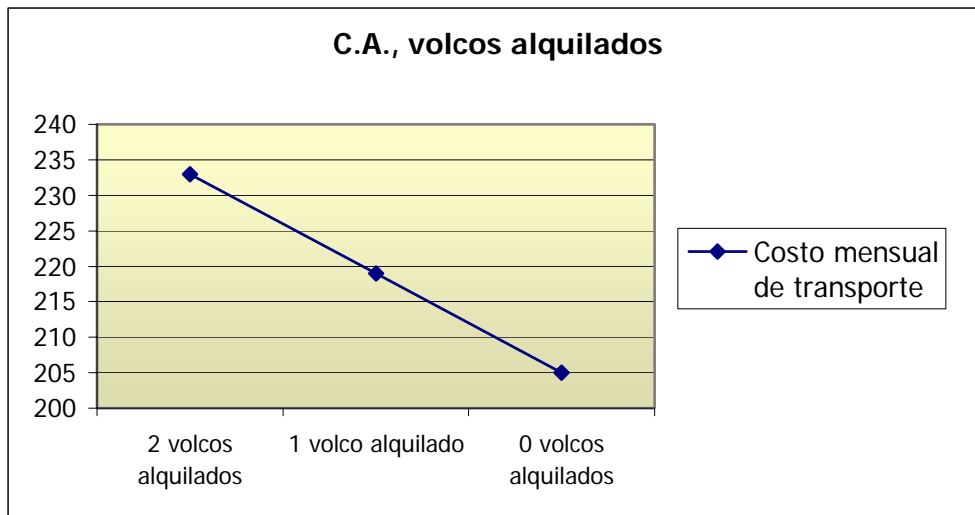


El número óptimo de volcos para la estrategia 1 es: dos (2) propios y cero (0) alquilados.

**Gráfica 12** C.A., volcos propios

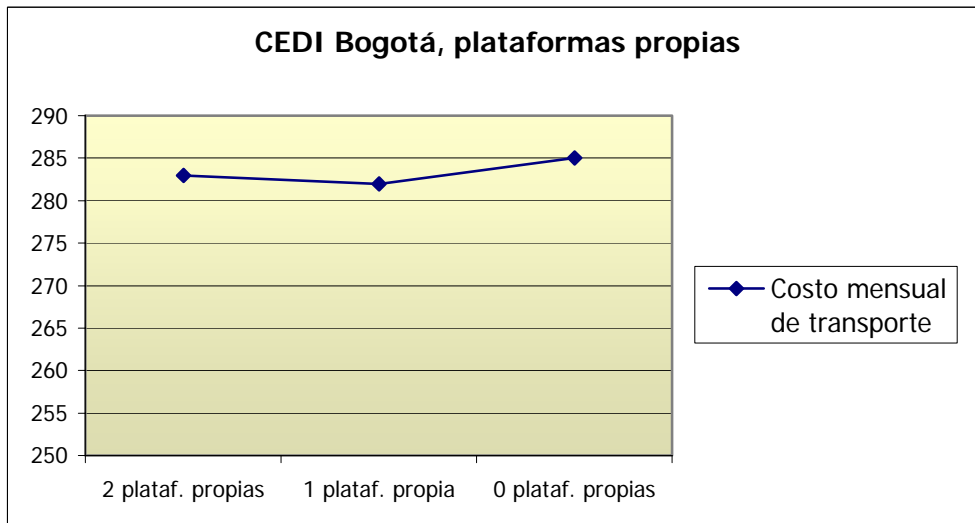


**Gráfica 13** C.A., volcos alquilados

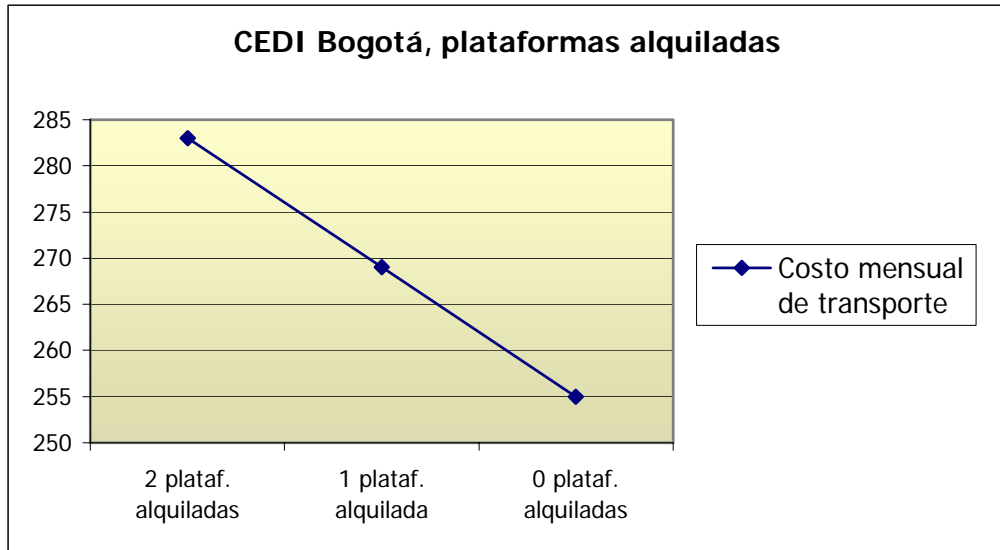


El número óptimo de contenedores tipo volco para la estrategia 2 es: dos (2) propios y uno (1) alquilado.

**Gráfica 14** CEDI Bogotá, plataformas propias

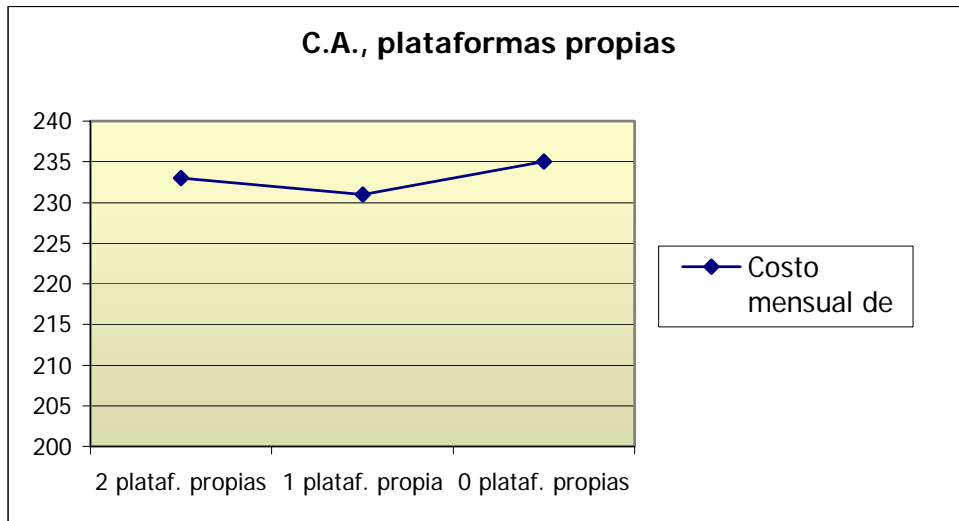


**Gráfica 15** CEDI Bogotá, plataformas alquiladas

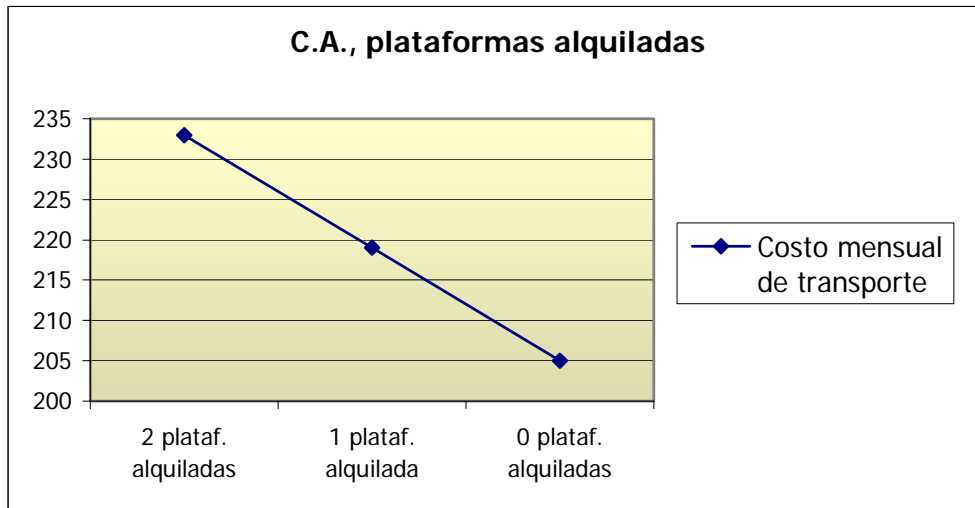


El número óptimo de plataformas para la estrategia 1 es: una (1) propia y cero (0) alquiladas.

**Gráfica 16** C.A., plataformas propias

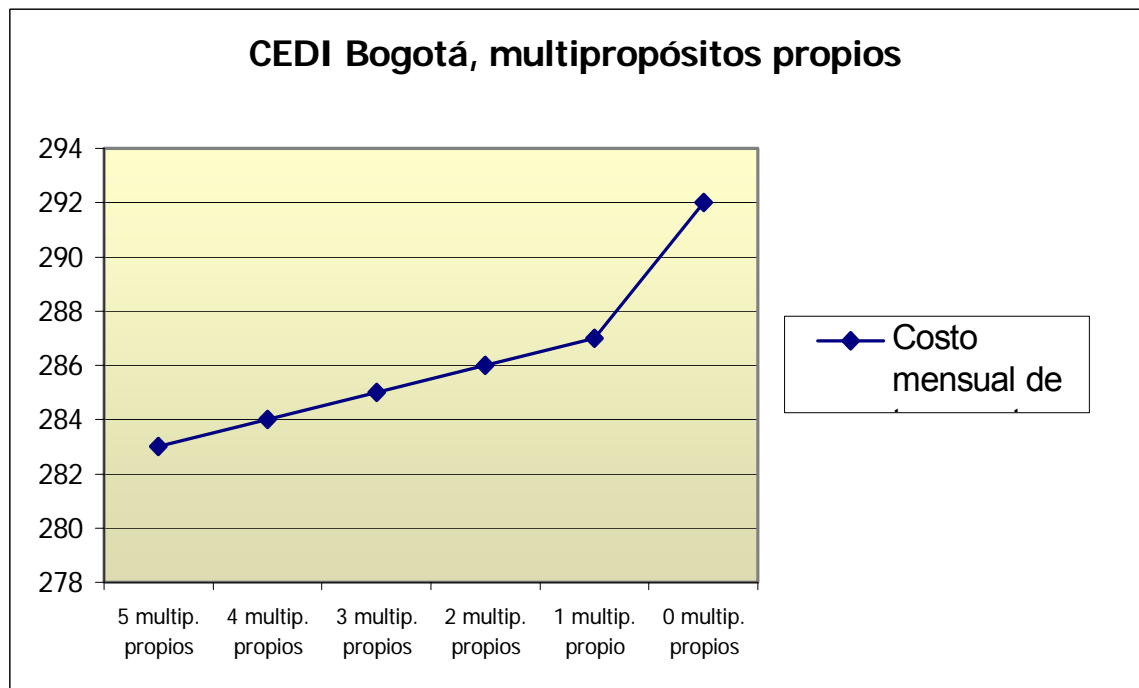


**Gráfica 17** C.A., plataformas alquiladas

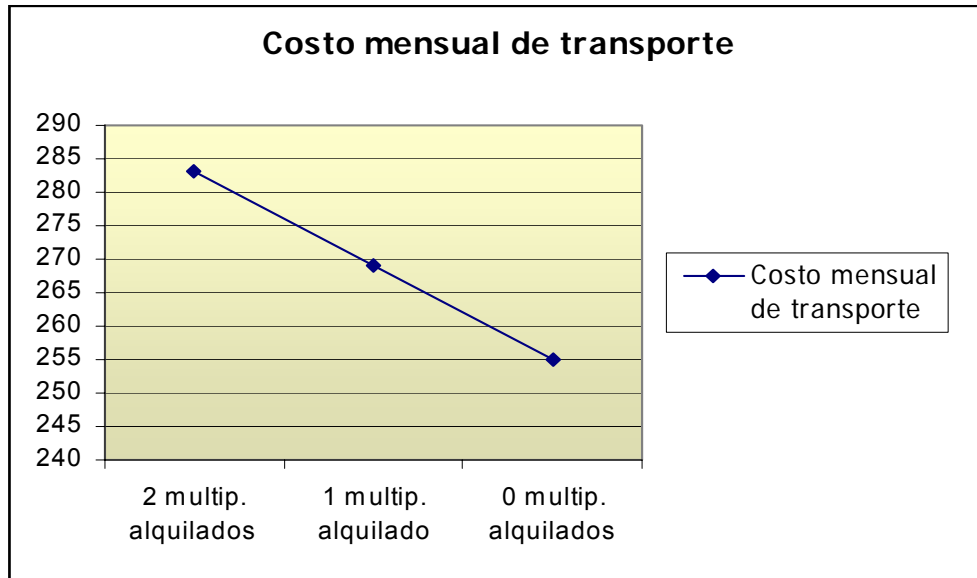


El número óptimo de contenedores tipo plataforma para la estrategia 2 es: una (1) propia y cero (0) alquiladas.

**Gráfica 18** CEDI Bogotá, multipropósitos propios

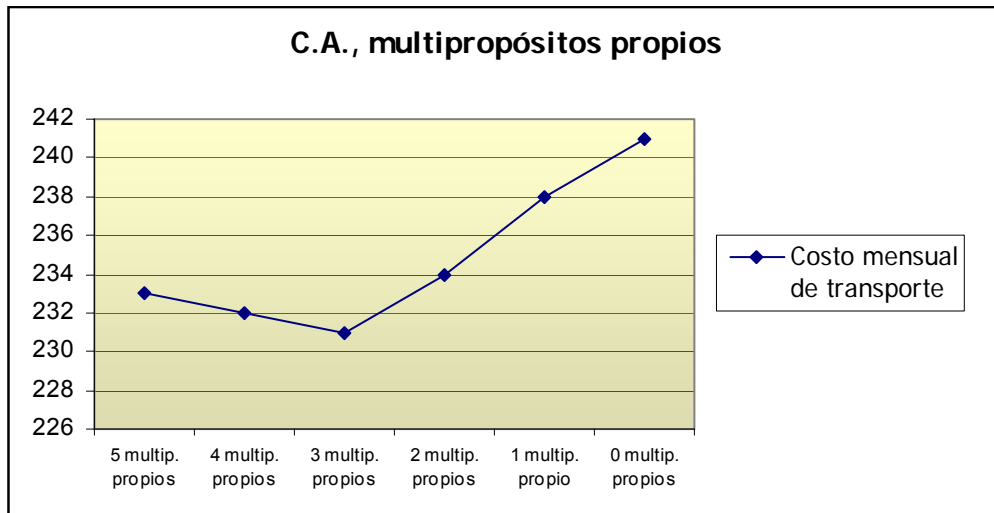


**Gráfica 19** CEDI Bogotá, multipropósitos alquilados

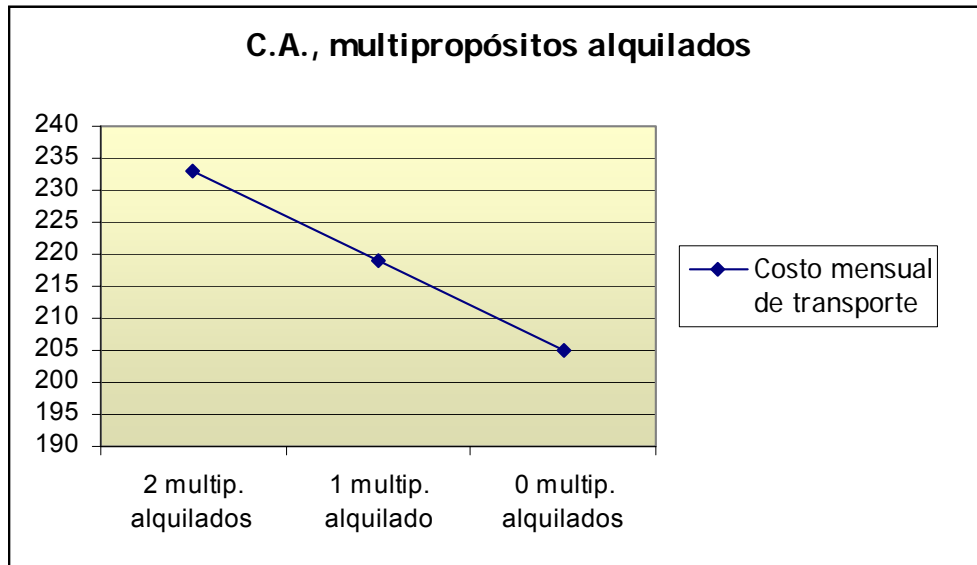


El número óptimo de vehículos multipropósito para la estrategia 1 es: cinco (5) propios y cero (0) alquilados.

**Gráfica 20** C.A., multipropósitos propios



**Gráfica 21** C.A., multipropósitos alquilados



El número óptimo de contenedores tipo multipropósito para la estrategia 2 es: tres (3) propios y cero (0) alquilados.

Una vez se haya definido el número óptimo de contenedores para cada estrategia logística, podemos definir las combinaciones óptimas de transporte.

**Tabla 37** Combinaciones óptimas de transporte

Tipo de contenedor	Estrategia 1: CEDI Bogotá		Estrategia 2: Centro de acopio	
	Nº Vehículos		Nº Vehículos	
	Propios	Alquilados	Propios	Alquilados
Tanque	2	1	2	1
Volco	2	0	2	0
Plataforma	1	0	1	0
Multipropósito	5	0	3	0

Estas combinaciones óptimas de transporte corresponden a la disponibilidad actual de flota, no consideran la posibilidad de adquirir vehículos propios o alquilados.

#### **6.4.5. Escenario 5**

El escenario 5 parte de las tendencias observadas en el escenario 4. Los contenedores de mayor participación en el proceso de transporte de carga e incidencia en el costo total de este proceso, son el tanque y el multipropósito.

Los resultados obtenidos mediante el software GAMS deben someterse a un ajuste en el costo debido a la compra o alquiler de equipos de transporte. La cuota de ajuste para los equipos propios está definida por el costo de capital de la empresa, es decir, el costo de tener un activo; mientras que la cuota mensual de ajuste de los equipos alquilados corresponde al costo de alquiler de cada uno de estos equipos.

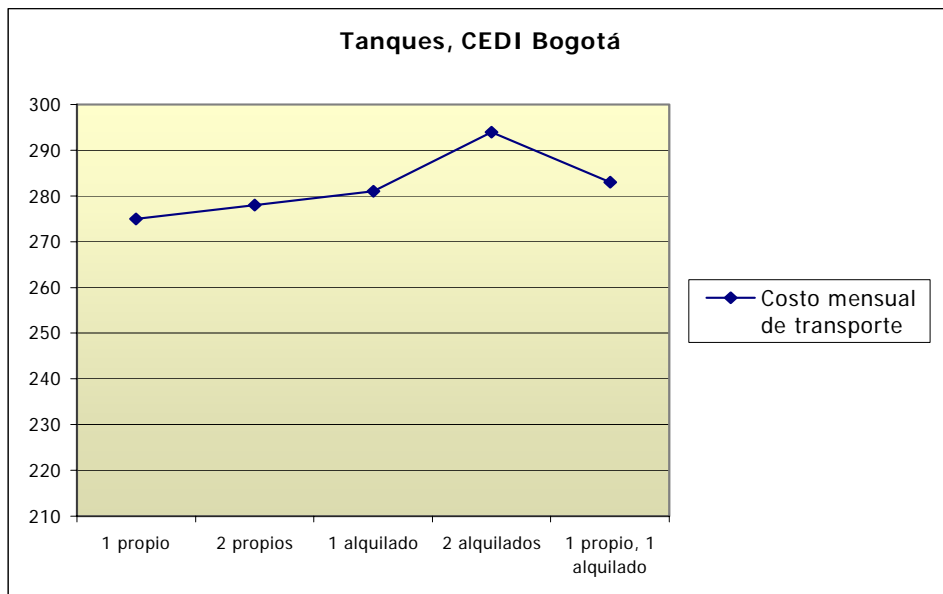
El costo de capital de la empresa es de 40.2% efectivo anual; se estima que el valor de un vehículo de transporte de carga es de cien millones de pesos (100'000.000). La tarifa mensual de alquiler de un vehículo de transporte de carga es de catorce millones treinta mil pesos (14'030.000). En este orden de ideas, las cuotas mensuales de ajuste al costo total de transporte son:

**Tabla 38** Ajuste por adquisición de equipos

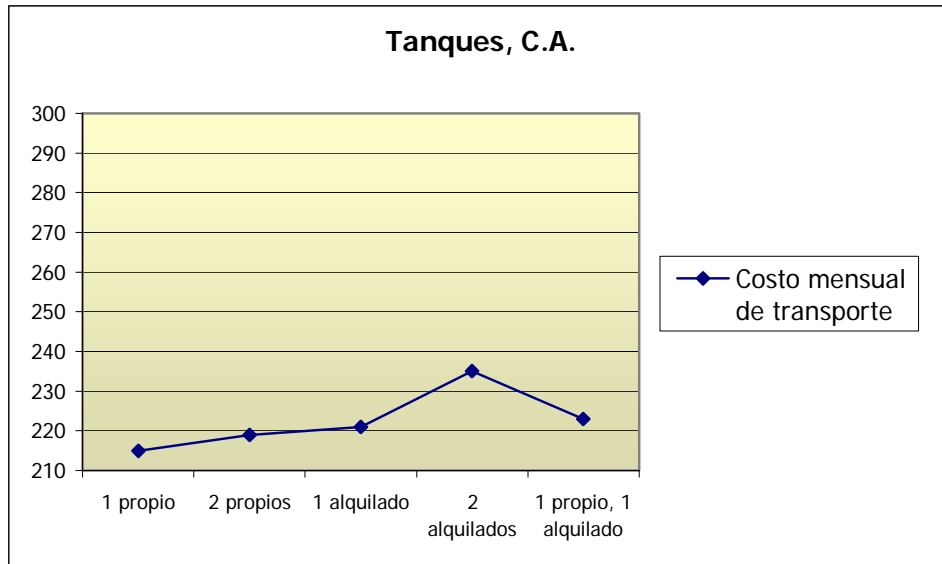
Propiedad de los equipos de transporte	Ajuste
Propios	3'350.000=
Alquilados	14'030.000=

La metodología a seguir en el presente escenario consiste en la presentación de gráficas, diseñadas para un contenedor y una estrategia logística específica. En estas gráficas, se presenta el costo de transporte según el número de vehículos adicionales que la empresa desee adquirir.

**Gráfica 22** Tanques, CEDI Bogotá

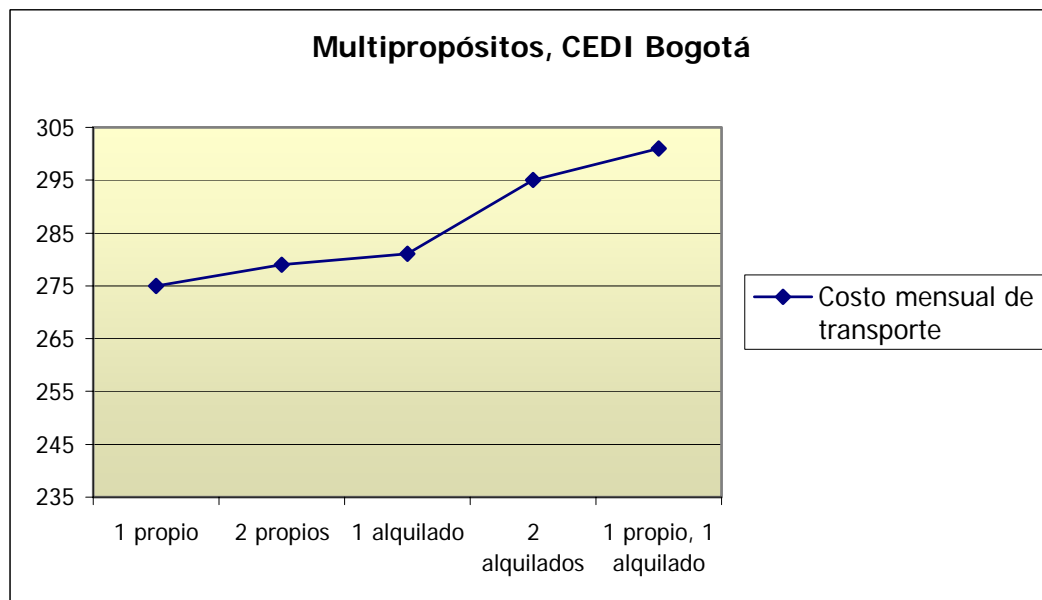


**Gráfica 23** Tanques, C.A.

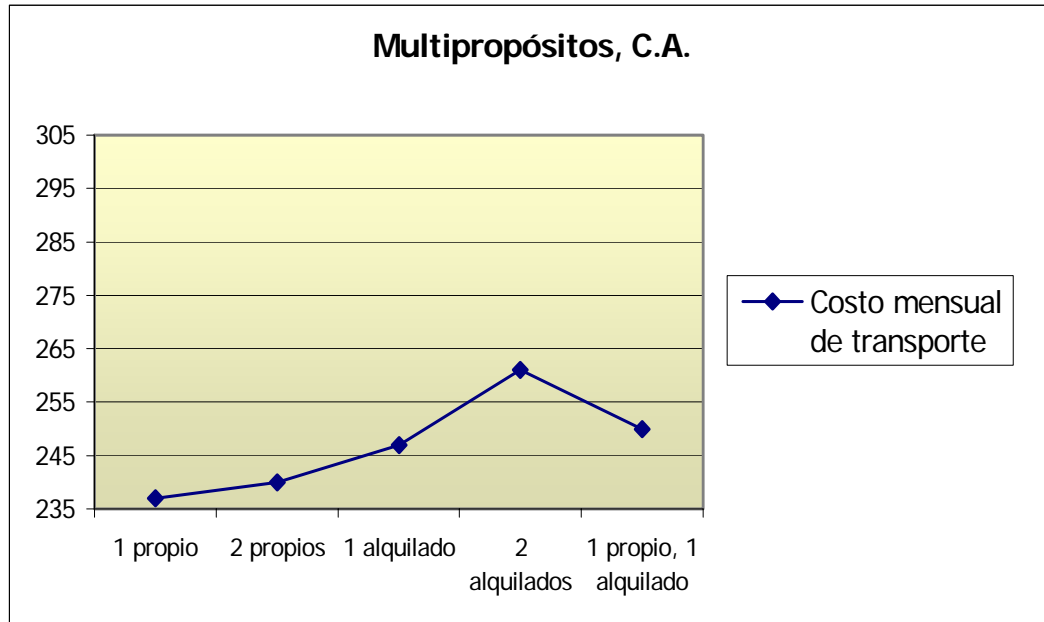


La mejor alternativa para reducir los costos de transporte es comprar un contenedor tipo tanque. Esta alternativa aplica para las estrategias 1 y 2.

**Gráfica 24** Multipropósitos, CEDI Bogotá



**Gráfica 25** Multipropósitos, C.A.



En el caso de los contenedores tipo multipropósito, la alternativa más económica de las propuestas en las gráficas, es la compra de uno de estos vehículos, sin embargo, esta alternativa no contribuye a la reducción de costos de transporte, por el contrario, los incrementa.

#### **6.4.6. Comparación general de los escenarios**

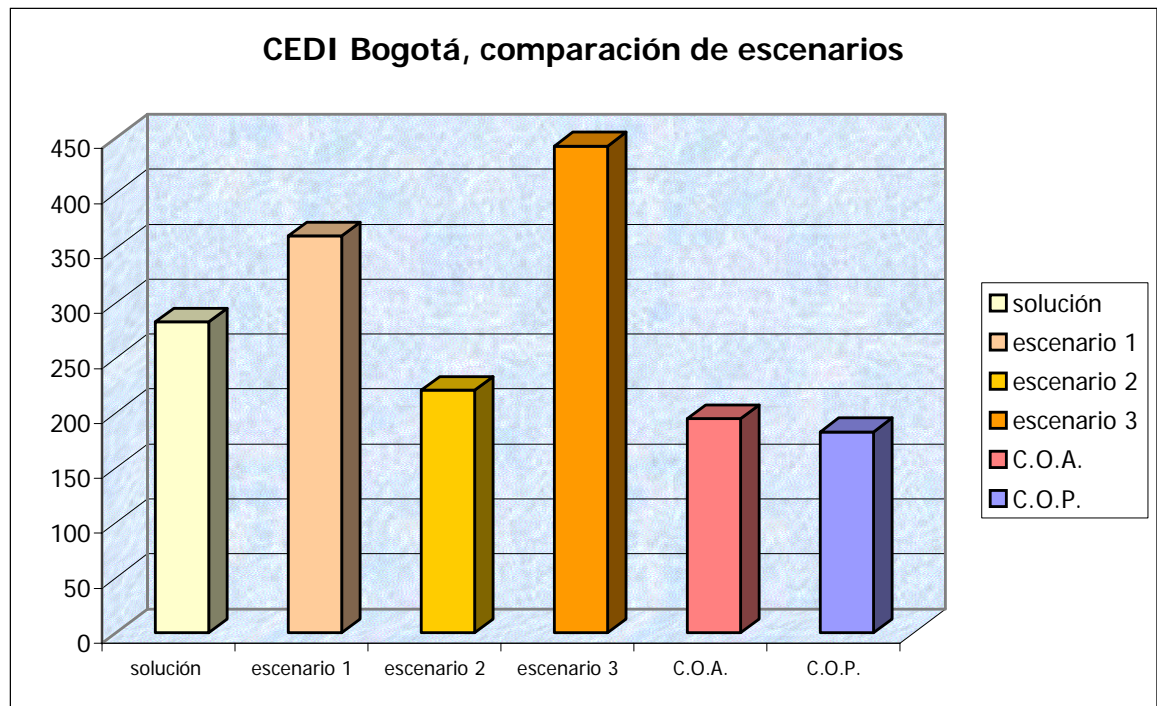
Con el fin de aclarar las diferencias entre el efecto que cada escenario produce en el valor de la función objetivo del modelo, se desarrollará una comparación general de los escenarios del análisis de sensibilidad.

La comparación general se realizará mediante gráficas diseñadas para cada estrategia logística, las cuales mostrarán los costos de transporte asociados con cada escenario.

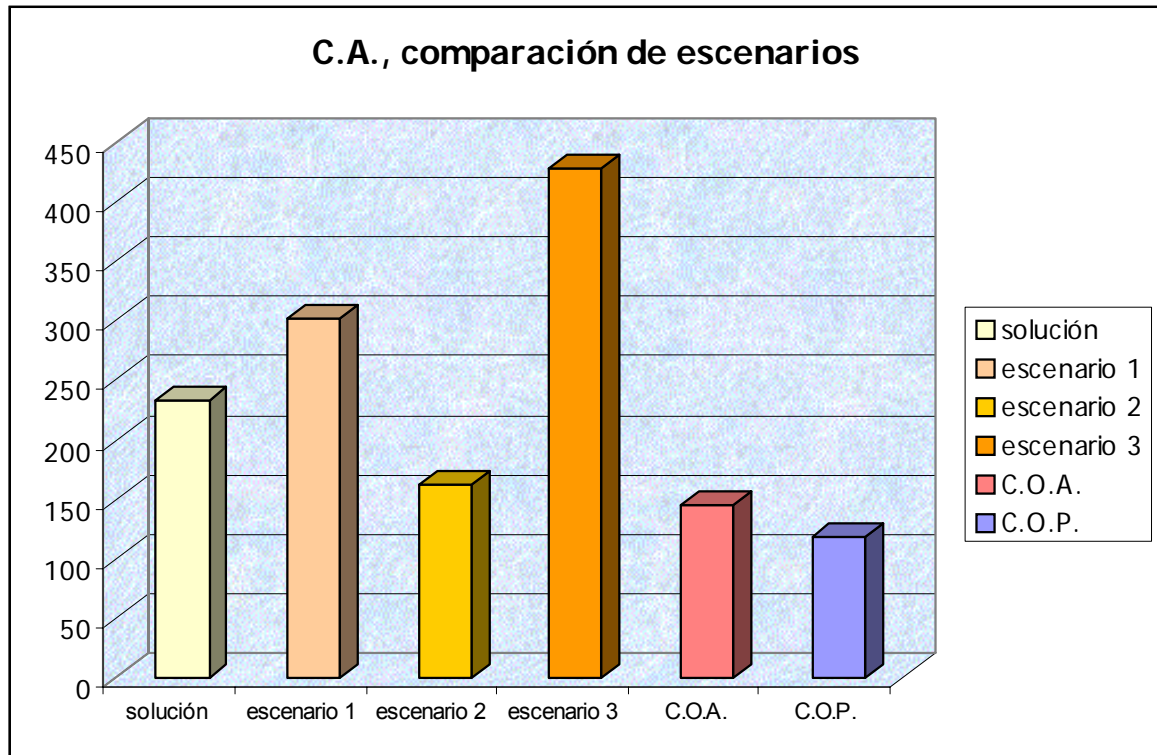
Las gráficas enseñarán los resultados originales del modelo matemático, los valores de la función objetivo asociados con los escenarios 1,2 y 3, la combinación óptima actual y la combinación óptima en caso de que la empresa opte por comprar un contenedor tipo tanque. Estas combinaciones óptimas se identificarán en las gráficas por medio de los siguientes códigos:

- C.O.A.: Combinación óptima actual
- C.O.P.: Combinación óptima propuesta

**Gráfica 26** CEDI Bogotá, Comparación de escenarios



**Gráfica 27** C.A., comparación de escenarios



Las dos gráficas correspondientes a las estrategias logísticas, presentan las mismas tendencias, razón por la cual están sujetas a la misma interpretación:

- El escenario menos favorable es dejar todo el proceso de transporte de carga en manos de los contratistas.
- La liberación de la flota propia aumentaría considerablemente el costo de transporte
- Un factor crítico de éxito es la liberación de equipos alquilados, dejando únicamente el contenedor tipo tanque.
- La liberación de equipos propios, siempre y cuando se respetan las combinaciones óptimas de transporte, puede contribuir a la reducción del costo de este proceso.

- La compra de un contenedor tipo plataforma reduciría significativamente los costos del proceso de transporte de carga.

### **6.5. Validación de los modelos de asignación de flota vehicular desarrollados en la empresa ERCO S.A.**

Después de desarrollar y verificar los modelos matemáticos de asignación de flota vehicular, es importante probar la validez de los mismos, para que su aplicación se ajuste de manera razonable al comportamiento global del proceso de transporte de carga de la empresa ERCO S.A.

Si el modelo intenta simular diversas configuraciones de diseño o de políticas de operación para un sistema propuesto, en el cual la información obtenida mediante el modelo no es fácilmente evaluable, puede ser adecuado llevar a cabo una *investigación de campo* para reunir algunos datos que se puedan comparar con los resultados del modelo.<sup>16</sup>

En cualquier caso, las investigaciones de campo suelen ser demasiado costosas y demoradas como para llevarse a cabo. Sin datos reales como estándar de comparación, la única forma de validar el modelo es que personas conocedoras verifiquen con todo cuidado la credibilidad de los resultados para varias situaciones.

Los modelos matemáticos, por lo general permiten obtener algunas conclusiones sobre cómo debe cambiar el desempeño relativo del sistema si se cambian unos parámetros. Es especialmente importante, convencer al tomador de decisiones de

---

<sup>16</sup> HILLIER S. Frederick, y GERALD J. Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones, Mc Graw Hill, México 1988. P. 824 y 825.

la credibilidad del modelo para que esté dispuesto, a utilizarlo al menos, como soporte en su proceso de toma de decisiones. Si el modelo se puede volver a usar en el futuro, se deben registrar con cuidado sus predicciones y los resultados reales harán posible que continúe el proceso de validación.

En nuestro caso puntual de los modelos de asignación de flota vehicular, existen otros criterios de validación, aparte de la consulta a expertos, como son:

- **Oportunidad:** el tiempo requerido por el modelo, para el procesamiento de información y obtención de resultados debe ser corto, debido a que por lo general, el tomador de decisiones demanda resultados inmediatos.
- **Congruencia:** el modelo debe proporcionar información congruente, es decir, los resultados deben ser consistentes para permitir observar tendencias que serán de especial utilidad para el tomador de decisiones.
- **Flexibilidad:** el modelo debe ser flexible ante los cambios en los parámetros de entrada, o ante la aparición de nuevas variables o restricciones.

### **Consulta a expertos**

Los resultados obtenidos mediante los modelos matemáticos fueron revisados cuidadosamente por el gerente de logística de ERCO S.A., el señor Ernesto

Munera Lozano<sup>17</sup>. Ernesto identificó varias oportunidades de mejora respecto a la estructura actual del proceso de transporte de carga.

Las principales oportunidades de mejora obedecen a la presencia de nuevas alternativas de compensación y a la polivalencia de los vehículos, esto último se debe al dinamismo que el modelo le imprimiría a los vehículos de transporte de carga, los cuales deben entregar una mercancía específica y buscar la mejor alternativa de compensación. La polivalencia de los vehículos de transporte de carga, contrasta con la estructura actual de este proceso, debido a que la empresa asigna ciertos vehículos para cubrir una ruta específica, descartando la opción de buscar alternativas de compensación adicionales a las que pueda ofrecer dicha ruta.

### **Oportunidad**

Los tiempos de respuesta de los modelos matemáticos, y particularmente, del software GAMS, son excelentes en comparación con otras herramientas de investigación de operaciones, como es el caso de los programas WINQSB y TORA.

Salvo contadas excepciones, en el desarrollo del análisis de sensibilidad, el tiempo de respuesta era inferior a un (1) segundo. En el caso más complejo, el tiempo de respuesta del modelo fue de veintiséis (26) minutos.

---

<sup>17</sup> El verdadero nombre del gerente de logística ha sido modificado por razones de confidencialidad y seguridad

## **Congruencia**

Los modelos matemáticos permiten observar la diferencia en el costo de transporte para las dos estrategias logísticas. Se realizaron dos corridas independientes para la movilización mensual de mercancías y para la movilización anual. Los resultados permiten apreciar la misma tendencia de ahorro, en caso de que la empresa opte por implementar el centro de acopio. Esta situación permite apreciar la congruencia de los resultados obtenidos por medio de los modelos matemáticos, debido a que existía una diferencia de más del 1000% en las cantidades a movilizar en cada una de las corridas anteriormente mencionadas, y el modelo presentó la misma tendencia.

## **Flexibilidad**

La estructura de diseño de los modelos y las características distintivas del programa GAMS, proporcionan un elevado índice de flexibilidad para dichos modelos.

En primer lugar, los modelos son totalmente susceptibles de recibir modificaciones en los parámetros de entrada de los mismos. Esta condición, sumada a la congruencia de la información, permite apreciar que sucedería si modificamos determinados parámetros de interés.

La flexibilidad de los modelos se puede apreciar en el análisis de sensibilidad desarrollado, el cual permite identificar tendencias de ahorro y definir la combinación óptima de equipos de transporte. También sirve como soporte en el proceso de decisión de inversión en equipos de transporte de carga.

Otro aporte a la flexibilidad de los modelos consiste en la posibilidad de incluir nuevas variables y sus respectivos parámetros, modificando así, el diseño del modelo y dando lugar al desarrollo de posteriores análisis de sensibilidad, con nuevas variantes y posiblemente, mayores niveles de profundidad.

Una característica del programa GAMS, que incide notablemente en la flexibilidad de los modelos, es la posibilidad de definir el margen de tolerancia entre una solución factible y una solución óptima. GAMS, como todo programa de uso profesional incorpora la opción de búsqueda de una solución buena en poco antes que la óptima, usando muchos recursos, es decir, GAMS detiene el proceso de búsqueda en aquellas soluciones que difieran menos de 10% de la mejor solución. Si se quiere encontrara el óptimo, solamente hay que incorporar la opción de que el margen de tolerancia sea muy bajo, por ejemplo un 0,0000001 (0,000001).

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

- El centro de acopio ubicado al suroriente de Bogotá podría representar ahorros superiores a los quinientos millones de pesos (\$500'000.000) anuales, respecto a la estrategia de continuar con el centro de distribución actual e implementar los big bags como una alternativa adicional de embalaje.
- A pesar de que la estrategia 2 podría representar ahorros mensuales de alrededor de cincuenta millones de pesos (\$50'000.000) para ERCO S.A., la asignación de flota en esta estrategia presenta un mayor número de nodos e interconexiones en la red de distribución de la empresa, es decir, implica una labor logística mucho más estructurada.
- Con base a los resultados del análisis de sensibilidad, podemos apreciar que la flota está sobredimensionada, es decir, ERCO S.A. cuenta con más vehículos propios y alquilados de los que realmente necesita para un óptimo desempeño del proceso de transporte de carga. Según los modelos matemáticos, estas serían las combinaciones óptimas de transporte:

**Tabla 39** Combinaciones óptimas de transporte, conclusiones

Tipo de contenedor	Estrategia 1: CEDI Bogotá		Estrategia 2: Centro de acopio	
	N° Vehículos		N° Vehículos	
	Propios	Alquilados	Propios	Alquilados
Tanque	2	1	2	1
Volco	2	0	2	0
Plataforma	1	0	1	0
Multipropósito	5	0	3	0

- El contenedor de mayor participación en el proceso de transporte de carga y por lo tanto, el de mayor incidencia en el costo de dicho proceso, es el contenedor tipo tanque, utilizado para la distribución de PT2, debido a que este producto es el de mayor de demanda en el mercado de ERCO S.A. La compra de un vehículo tanque reduciría los costos mensuales en más de trece millones de pesos (\$13'000.000), para cualquiera de las dos estrategias logísticas. En caso de que la empresa no cuenta con los medios para comprar este contenedor, el alquiler del mismo representaría ahorros mensuales superiores a los tres millones de pesos (\$3'000.000)
- Los contenedores tipo volco y plataforma son necesarios para el desarrollo del proceso de transporte de carga, sin embargo, la empresa tiene más vehículos de los que realmente necesita. Esta afirmación se basa en los resultados del análisis de sensibilidad, el cual sugiere la venta de dos (2) volcos y una (1) plataforma, además de cancelar el contrato de alquiler de este tipo de contenedores.
- Después del contenedor tipo tanque, el multipropósito es el de mayor incidencia en el proceso de transporte de carga, particularmente en la estrategia 1, la cual demanda la utilización de los cinco (5) multipropósitos disponibles, sin embargo, éste es el número óptimo de este tipo de

contenedores, debido a que la compra de otro multipropósito incrementaría los costos mensuales de transporte, alrededor de tres millones quinientos mil pesos (\$3'500.000). En el caso de la estrategia 2, el modelo sugiere vender dos (2) de los cinco (5) multipropósitos propios. En ambas estrategias, el modelo sugiere cancelar el contrato de los dos (2) vehículos multipropósito alquilados actualmente.

- Los big bags no son la mejor alternativa de compensación, debido a que el objetivo principal de la utilización de estos envases de polipropileno, es fomentar una mayor utilización de los contenedores tipo plataforma disponibles, mediante la presencia de una alternativa adicional de embalaje. Las razones de esta afirmación corresponden a las características del proceso de los big bags, el cual consiste en el llenado, cargue, descargue y vaciado de los mismos; y al sobredimensionamiento de los vehículos plataforma. El proceso de manipulación de los big bags tiene un costo de alrededor de trescientos pesos por tonelada (300 \$/t), este costo afecta directamente el costo de transporte, pues, la demanda mensual de la planta 1 de ERCO S.A. es de quinientos cuarenta y cuatro toneladas de MP2 (544t), y cuatrocientos ochenta toneladas (480 t) de MP3 envasados en big bags. Además, no sería viable fomentar una mayor utilización de los contenedores tipo plataforma, debido a que están sobredimensionados.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- La implementación del centro de acopio podría representar ahorros anuales superiores a los quinientos millones de pesos (\$500'000.000) anuales, razón por la cual ésta debería ser la estrategia logística a seleccionar.

- Los equipos alquilados presentan costos operativos significativamente más altos que los equipos propios, además de compartir las desventajas de éstos últimos. Por estas razones, la alternativa sugerida por los modelos matemáticos es la cancelación del contrato de alquiler de todos los vehículos alquilados, con excepción del contenedor tipo tanque.
- Partiendo de los resultados del modelo, los cuales sugieren tener solamente un (1) contenedor tipo plataforma propio y cero (0) alquilados, sería recomendable restringir la demanda de MP2 y MP3 en big bags, al número de viajes de PT1 que serán despachados en vehículos plataforma, y aumentar la demanda de estas materias primas a granel, dando mayor participación a los contenedores tipo volco y multipropósito, reduciendo así, el efecto del costo de manipulación de los big bags en el costo total de transporte.
- No es recomendable para la empresa, romper todo tipo de relaciones con los contratistas, debido a que el transporte con equipos propios y alquilados se ve directamente afectado por la disponibilidad de los transportistas encargados de dicha labor, los cuales no están exentos de enfermarse, sufrir una calamidad familiar, o en general, sufrir algún problema que los incapacite. La selección del personal encargado de la conducción de los vehículos propios y alquilados, es un proceso estructurado donde se evalúan factores como la honestidad, confiabilidad, compromiso y responsabilidad de los conductores, debido a que estas personas manipulan activos muy costosos, como son, los vehículos de transporte de carga y sus componentes. Esto significa, que ante la indisponibilidad de un conductor para cubrir una ruta determinada, no será fácil seleccionar un reemplazo, por lo tanto, la opción más probable es que sea el contratista quien deba realizar dicha entrega. Además, si ERCO S.A. rompe relaciones con un contratista, es muy poco probable que éste le ofrezca sus servicios al momento que la empresa lo necesite.

- Sería recomendable para ERCO S.A., evaluar la posibilidad de penetrar en mercados aledaños a los municipios en que se encuentran los proveedores, reduciendo así el número de viajes vacíos y logrando una mayor utilización de sus vehículos de transporte de carga. También podría considerarse la creación de alianzas estratégicas con empresas que estén ubicadas en Bogotá, las cuales necesiten enviar sus productos a municipios cercanos a la ubicación de alguno(s) de los proveedores de ERCO S.A.
- La responsabilidad y el compromiso de los operarios del proceso de transporte terrestre de carga, son factores críticos de éxito en la optimización de dicho proceso, principalmente, debido al cumplimiento de los tiempos de ruta, los cuales definen la utilización de la capacidad horaria disponible de los vehículos propios y alquilados. También es importante estandarizar las actividades de transferencia de materiales (cargue, descargue, carpe, descarpe, pesaje, etc.), porque el tiempo empleado en las mismas afecta directamente los tiempos de ruta.

## BIBLIOGRAFÍA

<http://www.mintransporte.gov.co>

<http://www.proexport.com>

<http://www.ceaordenadores.com/descripcion/13.htm>

[http://www.entrebts.com/descargas/version/agencia-de-transporte-carga-completa/4\\_9/](http://www.entrebts.com/descargas/version/agencia-de-transporte-carga-completa/4_9/)

<http://cursos.universia.net/app/es/showcourse.asp>

<http://www.aecoc.es/web/logistica.nsf>

<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/ganaderos/articulosrurales/envasestextiles/big-bag.htm>

<http://www.bolsarpil.com.ar/castellano/bigbags.htm>

<http://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=1631>

[5](#)

<http://www.kingpack.com/default.htm>

<http://www.abc-pack.com/default.php/name/Ensacadoras/cPath/44>

<http://www.contebil.com/productos/productos.htm>

<http://www.raferingenieri.com/productos/bigbag.htm>

<http://biblioteca.eia.edu.co/tesis.htm>

GOULD F.J. y EPPEN G.D. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. México, Prentice – Hall, 1987.

HILLIER S. Frederick, y GERALD J. Lieberman. Introducción a la Investigación de Operaciones, México, Mc Graw Hill, 1988.

TAHA H. Investigación de Operaciones. México, Alfaomega Grupo Editor, 1995.  
MATHUR Kamlesh, y SOLOW Daniel, Investigación de Operaciones: El arte de la toma de decisiones. México, Prentice – Hall Hispanoamerica , 1996.

BALLOU R. Business Logistics Management. U.S.A., Prentice Hall, 1999.

MIRANDA J. Gestión de Proyectos. 4 ed. Bogotá, Editora Guadalupe Ltda., 2003.

BALLOU R. Logística: Administración de la Cadena de Suministro. 5 ed. México, Pearson Educación, 2004.

# ANEXOS

## ANEXO A: TABLA DE FLETES DEL MINISTERIO DE TRANSPORTE

Resolución N° 300, 19 de mayo de 2003

“Por la cual se fijan los criterios en las relaciones económicas entre las empresas de transporte y los propietarios y/o conductores de los vehículos de carga”

ORIGEN \ DESTINO	ARMENIA	B/QUILLA	BOGOTA	B/MANGA	B/TURA	CALI	C/GENA	CUCUTA	DUITAMA	IBAGUE	IPALES	M/ZALES	M/LLIN	NEIVA	PASTO	PEREIRA
ARMENIA	-	81.530	50.493	64.083	38.613	29.702	81.530	83.194	57.919	28.217	69.752	23.762	49.009	37.128	61.942	20.791
B/QUILLA	91.482	-	98.240	72.770	104.824	108.152	29.702	83.165	95.294	103.280	119.797	97.685	81.000	109.815	117.027	101.496
BOGOTA	44.553	59.899	-	46.039	53.243	53.243	59.899	58.235	29.702	34.158	96.504	47.523	51.826	41.583	88.951	47.523
B/MANGA	65.344	54.908	62.374	-	86.520	82.588	61.563	33.277	59.404	59.404	116.471	63.860	75.741	69.882	111.480	65.344
B/VENTURA	43.068	107.370	72.770	89.849	-	32.672	107.370	108.152	81.681	59.404	72.770	49.009	66.830	72.770	66.830	44.553
CALI	29.702	91.513	60.890	83.315	32.672	-	91.513	101.220	71.730	47.523	57.176	36.530	57.697	59.404	50.493	34.158
C/GENA	98.240	25.247	104.946	79.527	113.143	107.370	-	86.136	96.532	96.529	119.797	93.562	78.711	108.843	116.471	93.562
CUCUTA	76.781	59.899	68.065	34.790	91.513	91.513	64.891	-	67.506	69.882	119.798	74.875	85.719	74.875	116.471	78.202
DUITAMA	59.404	59.899	31.188	46.060	68.219	66.554	66.554	66.554	-	48.253	103.159	59.404	66.554	57.855	99.831	59.404
IBAGUE	37.128	74.872	35.642	55.967	47.523	44.553	74.875	74.875	48.551	-	78.576	41.583	51.642	29.702	74.255	40.098
IPALES	66.554	133.109	96.504	109.815	70.181	59.404	133.109	121.462	99.831	79.825	-	73.210	91.513	86.520	19.966	67.052
M/ZALES	29.702	79.866	57.919	69.800	41.878	35.513	74.875	87.621	63.529	44.553	73.513	-	38.613	63.860	69.882	29.702
MEDELLIN	40.624	51.581	52.251	62.853	49.916	48.256	53.243	81.530	63.226	51.642	78.202	41.585	-	57.688	78.202	41.583
NEIVA	51.979	91.513	49.009	73.118	59.404	53.463	91.513	93.176	60.353	31.188	90.298	53.463	59.404	-	81.681	47.523
PASTO	60.311	119.797	86.520	103.159	62.374	56.434	119.797	116.471	94.840	71.285	19.966	68.219	83.194	81.658	-	65.084
PEREIRA	26.732	79.866	57.919	69.800	40.098	31.188	78.202	87.621	63.529	44.553	74.255	29.702	46.039	60.890	65.279	-
S.MARTA	98.016	25.247	93.781	71.285	103.159	103.159	29.702	81.681	90.443	96.679	119.797	96.573	84.796	108.152	116.471	99.831
V/CENCIO	51.460	76.538	34.158	54.908	58.235	61.563	76.538	62.619	41.583	42.353	99.831	54.949	63.995	52.413	94.840	55.589

- Los costos que generan los cargues y descargues son de cargo exclusivo del remitente y/o destinatario (Resolución No. 0870 de marzo 20 de 1998)
- La empresa de transporte no podrá deducir conceptos no autorizados por la Ley (Resolución No. 2113 de abril 25 de 1997)
- La empresa de transporte cancelará los valores por el servicio dentro de ocho (8) horas hábiles siguientes a la presentación de los cumplidos (Resolución No. 2113/97).
- La empresa de transporte o destinataria de la mercancía pagará el bodegaje sobre el camión (Resolución No. 2113 de abril 25 de 1997)
- Los valores aquí establecidos son válidos para carga masiva o general

## ANEXO B: COSTOS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

### ESTRATEGIA 1 : CEDI Bogotá

**Tabla 40** Costos de transporte con equipos propios, estrategia 1

$X_{ijk}$	Contenedor	Carga	RUTA		$C_{ijkl}$ (\$/viaje)
			Origen	Destino	
$X_{1,8,1,1}$	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI Bogotá	304.855
$X_{1,8,3,1}$	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI Bogotá	100.126
$X_{1,9,14,1}$	Tanque	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 1	99.231
$X_{1,9,15,1}$	Tanque	Vacío	Cedi Bogotá	Planta 2	50.348
$X_{2,1,7,1}$	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	887.911
$X_{2,1,8,1}$	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	926.715
$X_{2,2,8,1}$	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	963.111
$X_{2,3,8,1}$	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	963.111
$X_{2,6,2,1}$	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	399.041
$X_{2,9,7,1}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor A	198.113
$X_{2,9,8,1}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor B	223.852
$X_{2,9,9,1}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor C	269.554
$X_{2,9,10,1}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor A	76.831
$X_{2,9,11,1}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor B	81.239
$X_{2,9,12,1}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor C	98.211
$X_{2,9,13,1}$	Volco	Vacío	Planta 2	Planta 1	137.659
$X_{3,4,6,1}$	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	971.878
$X_{3,5,6,1}$	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	971.878
$X_{3,7,1,1}$	Plataforma	PT1	Planta 1	CEDI Bogotá	325.104
$X_{3,7,3,1}$	Plataforma	PT1	Planta 2	CEDI Bogotá	250.302
$X_{3,9,9,1}$	Plataforma	Vacío	Planta 1	Proveedor C	270.561

X <sub>ijkl</sub>	Contenedor	Carga	RUTA		C <sub>ijkl</sub> (s/viaje)
			Origen	Destino	
X <sub>3,9,12,1</sub>	Plataforma	Vacío	Planta 2	Proveedor C	97.842
X <sub>3,9,14,1</sub>	Plataforma	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 1	100.412
X <sub>3,9,15,1</sub>	Plataforma	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 2	50.204
X <sub>3,9,18,1</sub>	Plataforma	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor C	147.788
X <sub>4,1,4,1</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	945.755
X <sub>4,1,5,1</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	983.880
X <sub>4,2,6,1</sub>	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	1 023.190
X <sub>4,3,6,1</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	1 023.190
X <sub>4,4,6,1</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1 031.014
X <sub>4,5,6,1</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1 031.014
X <sub>4,6,2,1</sub>	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	423.402
X <sub>4,7,1,1</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 1	CEDI Bogotá	324.060
X <sub>4,7,3,1</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 2	CEDI Bogotá	100.940
X <sub>4,9,7,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor A	198.113
X <sub>4,9,8,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor B	223.852
X <sub>4,9,9,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor C	269.554
X <sub>4,9,10,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor A	76.831
X <sub>4,9,11,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor B	81.239
X <sub>4,9,12,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor C	98.211
X <sub>4,9,13,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Planta 1	137.659
X <sub>4,9,14,1</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 1	100.412
X <sub>4,9,15,1</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 2	50.204
X <sub>4,9,16,1</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor A	85.701
X <sub>4,9,17,1</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor B	111.009
X <sub>4,9,18,1</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor C	147.788

**Tabla 41** Costos de transporte con equipos alquilados, estrategia 1

$X_{ijkl}$	Contenedor	Carga	RUTA		$C_{ijkl}$ (\$/viaje)
			Origen	Destino	
$X_{1,8,1,2}$	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI Bogotá	331.687
$X_{1,8,3,2}$	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI Bogotá	125.031
$X_{1,9,14,2}$	Tanque	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 1	123.805
$X_{1,9,15,2}$	Tanque	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 2	68.949
$X_{2,1,7,2}$	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	944.316
$X_{2,1,8,2}$	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	970.134
$X_{2,2,8,2}$	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'011.002
$X_{2,3,8,2}$	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	1'011.002
$X_{2,6,2,2}$	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	413.758
$X_{2,9,7,2}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor A	229.364
$X_{2,9,8,2}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor B	261.756
$X_{2,9,9,2}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor C	314.493
$X_{2,9,10,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor A	90.852
$X_{2,9,11,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor B	98.728
$X_{2,9,12,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor C	121.003
$X_{2,9,13,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Planta 1	158.387
$X_{3,4,6,2}$	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'019.238
$X_{3,5,6,2}$	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'019.238
$X_{3,7,1,2}$	Plataforma	PT1	Planta 1	CEDI Bogotá	351.617
$X_{3,7,3,2}$	Plataforma	PT1	Planta 2	CEDI Bogotá	124.991
$X_{3,9,9,2}$	Plataforma	Vacío	Planta 1	Proveedor C	314.993
$X_{3,9,12,2}$	Plataforma	Vacío	Planta 2	Proveedor C	121.003
$X_{3,9,14,2}$	Plataforma	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 1	123.805
$X_{3,9,15,2}$	Plataforma	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 2	68.949
$X_{3,9,18,2}$	Plataforma	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor C	177.679
$X_{4,1,4,2}$	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	1'003.772

X <sub>ijkl</sub>	Contenedor	Carga	RUTA		C <sub>ijkl</sub> (\$/viaje)
			Origen	Destino	
X <sub>4,1,5,2</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	1'030.630
X <sub>4,2,6,2</sub>	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'074.190
X <sub>4,3,6,2</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	1'074.190
X <sub>4,4,6,2</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'082.644
X <sub>4,5,6,2</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'082.644
X <sub>4,6,2,2</sub>	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	439.880
X <sub>4,7,1,2</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 1	CEDI Bogotá	352.750
X <sub>4,7,3,2</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 2	CEDI Bogotá	126.440
X <sub>4,9,7,2</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor A	229.364
X <sub>4,9,8,2</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor B	261.756
X <sub>4,9,9,2</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor C	314.493
X <sub>4,9,10,2</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor A	90.852
X <sub>4,9,11,2</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor B	98.728
X <sub>4,9,12,2</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor C	121.003
X <sub>4,9,13,2</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Planta 1	158.387
X <sub>4,9,14,2</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 1	123.805
X <sub>4,9,15,2</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Planta 2	68.949
X <sub>4,9,16,2</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor A	106.002
X <sub>4,9,17,2</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor B	138.287
X <sub>4,9,18,2</sub>	Multipropósito	Vacío	CEDI Bogotá	Proveedor C	177.679

**Tabla 42** Tarifas del contratista, estrategia 1

$X_{ijkl}$	Contenedor	Carga	RUTA		$C_{ijkl}$ (\$/viaje)
			Origen	Destino	
$X_{1,8,1,3}$	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI Bogotá	1'093.056
$X_{1,8,3,3}$	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI Bogotá	416.000
$X_{2,1,7,3}$	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	1'553.632
$X_{2,1,8,3}$	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	1'553.632
$X_{2,2,8,3}$	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{2,3,8,3}$	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{2,6,2,3}$	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	1'093.056
$X_{3,4,6,3}$	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{3,5,6,3}$	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{3,7,1,3}$	Plataforma	PT1	Planta 1	CEDI Bogotá	1'093.056
$X_{3,7,3,3}$	Plataforma	PT1	Planta 2	CEDI Bogotá	416.000
$X_{4,1,4,3}$	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	1'650.734
$X_{4,1,5,3}$	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	1'650.734
$X_{4,2,6,3}$	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'650.734
$X_{4,3,6,3}$	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	1'650.734
$X_{4,4,6,3}$	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'650.734
$X_{4,5,6,3}$	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'650.734
$X_{4,6,2,3}$	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	1'161.372
$X_{4,7,1,3}$	Multipropósito	PT1	Planta 1	CEDI Bogotá	1'161.372
$X_{4,7,3,3}$	Multipropósito	PT1	Planta 2	CEDI Bogotá	442.000

## ESTRATEGIA 2: CENTRO DE ACOPIO

**Tabla 43** Costos de transporte con equipos propios, estrategia 2

X <sub>ijkl</sub>	Contenedor	Carga	RUTA		C <sub>ijkl</sub> (\$/viaje)
			Origen	Destino	
X <sub>1,8,1,1</sub>	Tanque	PT2	Planta 1	Bogotá	304.855
X <sub>1,8,3,1</sub>	Tanque	PT2	Planta 2	Bogotá	100.126
X <sub>1,8,18,1</sub>	Tanque	Vacio	Bogotá	Planta 1	99.231
X <sub>1,8,19,1</sub>	Tanque	Vacio	Bogotá	Planta 2	50.348
X <sub>2,1,6,1</sub>	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	887.911
X <sub>2,1,7,1</sub>	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	926.715
X <sub>2,2,8,1</sub>	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	963.111
X <sub>2,3,8,1</sub>	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	963.111
X <sub>2,1,9,1</sub>	Volco	MP1	Proveedor A	C.A.	412.007
X <sub>2,1,10,1</sub>	Volco	MP1	Proveedor B	C.A.	427.564
X <sub>2,2,11,1</sub>	Volco	MP2	Proveedor C	C.A.	369.256
X <sub>2,3,11,1</sub>	Volco	MP3	Proveedor C	C.A.	369.256
X <sub>2,1,12,1</sub>	Volco	MP1	C.A.	Planta 1	80.191
X <sub>2,2,12,1</sub>	Volco	MP2	C.A.	Planta 1	80.191
X <sub>2,3,12,1</sub>	Volco	MP3	C.A.	Planta 1	80.191
X <sub>2,6,2,1</sub>	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	399.041
X <sub>2,6,3,1</sub>	Volco	PI	Planta 1	C.A.	249.814
X <sub>2,6,13,1</sub>	Volco	PI	C.A.	Planta 2	114.719
X <sub>2,9,5,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 2	C.A.	58.763
X <sub>2,9,14,1</sub>	Volco	Vacio	C.A.	Proveedor A	110.203
X <sub>2,9,15,1</sub>	Volco	Vacio	C.A.	Proveedor B	128.911
X <sub>2,9,16,1</sub>	Volco	Vacio	C.A.	Proveedor C	157.036
X <sub>2,9,23,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 1	Proveedor A	198.113
X <sub>2,9,24,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 1	Proveedor B	223.852
X <sub>2,9,25,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 1	Proveedor C	269.554
X <sub>2,9,26,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 2	Proveedor A	76.831

X <sub>ijkl</sub>	Contenedor	Carga	RUTA		C <sub>ijkl</sub> (S/viaje)
			Origen	Destino	
X <sub>2,9,27,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 2	Proveedor B	81.239
X <sub>2,9,28,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 2	Proveedor C	98.211
X <sub>2,9,29,1</sub>	Volco	Vacio	Planta 2	Planta 1	137.659
X <sub>3,4,8,1</sub>	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	971.878
X <sub>3,5,8,1</sub>	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	971.878
X <sub>3,4,11,1</sub>	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	377.835
X <sub>3,5,11,1</sub>	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	377.835
X <sub>3,4,12,1</sub>	Plataforma	MP2 BB	C.A.	Planta 1	98.222
X <sub>3,5,12,1</sub>	Plataforma	MP3 BB	C.A.	Planta 1	98.222
X <sub>3,7,1,1</sub>	Plataforma	PT1	Planta 1	Bogotá	325.104
X <sub>3,7,2,1</sub>	Plataforma	PT1	Planta 1	C.A.	249.809
X <sub>3,7,4,1</sub>	Plataforma	PT1	Planta 2	Bogotá	99.897
X <sub>3,7,5,1</sub>	Plataforma	PT1	Planta 2	C.A.	155.235
X <sub>3,9,16,1</sub>	Plataforma	Vacio	C.A.	Proveedor C	156.648
X <sub>3,9,17,1</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	C.A.	29.999
X <sub>3,9,18,1</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	Planta 1	100.412
X <sub>3,9,19,1</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	Planta 2	50.204
X <sub>3,9,22,1</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	Proveedor C	147.788
X <sub>3,9,25,1</sub>	Plataforma	Vacio	Planta 1	Proveedor C	270.561
X <sub>3,9,28,1</sub>	Plataforma	Vacio	Planta 2	Proveedor C	97.842
X <sub>4,1,6,1</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	945.755
X <sub>4,1,7,1</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	983.880
X <sub>4,2,8,1</sub>	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'023.190
X <sub>4,3,8,1</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	1'023.190
X <sub>4,4,8,1</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'031.014
X <sub>4,5,8,1</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'031.014
X <sub>4,1,9,1</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor A	C.A.	437.614
X <sub>4,1,10,1</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor B	C.A.	454.750
X <sub>4,2,11,1</sub>	Multipropósito	MP2	Proveedor C	C.A.	392.060
X <sub>4,3,11,1</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	C.A.	392.060
X <sub>4,4,11,1</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	400.776

X <sub>ijkl</sub>	Contenedor	Carga	RUTA		C <sub>ijkl</sub> (\$/viaje)
			Origen	Destino	
X <sub>4,5,11,1</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	400.776
X <sub>4,1,12,1</sub>	Multipropósito	MP1	C.A.	Planta 1	84.903
X <sub>4,2,12,1</sub>	Multipropósito	MP2	C.A.	Planta 1	84.903
X <sub>4,3,12,1</sub>	Multipropósito	MP3	C.A.	Planta 1	84.903
X <sub>4,4,12,1</sub>	Multipropósito	MP2 BB	C.A.	Planta 1	93.894
X <sub>4,5,12,1</sub>	Multipropósito	MP3 BB	C.A.	Planta 1	93.894
X <sub>4,6,2,1</sub>	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	423.402
X <sub>4,6,3,1</sub>	Multipropósito	PI	Planta 1	C.A.	265.630
X <sub>4,6,13,1</sub>	Multipropósito	PI	C.A.	Planta 2	122.190
X <sub>4,7,1,1</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 1	Bogotá	324.060
X <sub>4,7,2,1</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 1	C.A.	265.630
X <sub>4,7,4,1</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 2	Bogotá	100.940
X <sub>4,7,5,1</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 2	C.A.	164.690
X <sub>4,9,5,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	C.A.	58.763
X <sub>4,9,14,1</sub>	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor A	109.412
X <sub>4,9,15,1</sub>	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor B	128.911
X <sub>4,9,16,1</sub>	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor C	157.036
X <sub>4,9,17,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Bogotá	C.A.	29.999
X <sub>4,9,18,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 1	100.412
X <sub>4,9,19,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 2	50.204
X <sub>4,9,20,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor A	85.701
X <sub>4,9,21,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor B	111.009
X <sub>4,9,22,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor C	147.788
X <sub>4,9,23,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor A	198.113
X <sub>4,9,24,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor B	223.852
X <sub>4,9,25,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor C	269.554
X <sub>4,9,26,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor A	76.831
X <sub>4,9,27,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor B	81.239
X <sub>4,9,28,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor C	98.211
X <sub>4,9,29,1</sub>	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Planta 1	137.659

**Tabla 44** Costos de transporte con equipos alquilados, estrategia 2

$X_{ijkl}$	Contenedor	Carga	RUTA		$C_{ijkl}$ (\$/viaje)
			Origen	Destino	
$X_{1,8,1,2}$	Tanque	PT2	Planta 1	Bogotá	331.687
$X_{1,8,3,2}$	Tanque	PT2	Planta 2	Bogotá	125.031
$X_{1,8,18,2}$	Tanque	Vacío	Bogotá	Planta 1	123.805
$X_{1,8,19,2}$	Tanque	Vacío	Bogotá	Planta 2	68.949
$X_{2,1,6,2}$	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	944.316
$X_{2,1,7,2}$	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	970.134
$X_{2,2,8,2}$	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	1 011.002
$X_{2,3,8,2}$	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	1 011.002
$X_{2,1,9,2}$	Volco	MP1	Proveedor A	C.A.	448.741
$X_{2,1,10,2}$	Volco	MP1	Proveedor B	C.A.	466.039
$X_{2,2,11,2}$	Volco	MP2	Proveedor C	C.A.	395.130
$X_{2,3,11,2}$	Volco	MP3	Proveedor C	C.A.	395.130
$X_{2,1,12,2}$	Volco	MP1	C.A.	Planta 1	100.094
$X_{2,2,12,2}$	Volco	MP2	C.A.	Planta 1	100.094
$X_{2,3,12,2}$	Volco	MP3	C.A.	Planta 1	100.094
$X_{2,6,2,2}$	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	413.758
$X_{2,6,3,2}$	Volco	PI	Planta 1	C.A.	274.632
$X_{2,6,13,2}$	Volco	PI	C.A.	Planta 2	136.698
$X_{2,9,5,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	C.A.	81.271
$X_{2,9,14,2}$	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor A	132.347
$X_{2,9,15,2}$	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor B	154.122
$X_{2,9,16,2}$	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor C	188.555
$X_{2,9,23,2}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor A	229.364
$X_{2,9,24,2}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor B	261.756
$X_{2,9,25,2}$	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor C	314.493
$X_{2,9,26,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor A	90.852
$X_{2,9,27,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor B	98.728
$X_{2,9,28,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor C	121.003
$X_{2,9,29,2}$	Volco	Vacío	Planta 2	Planta 1	158.387

X <sub>ijkl</sub>	Contenedor	Carga	RUTA		C <sub>ijkl</sub> (\$/viaje)
			Origen	Destino	
X <sub>3,4,8,2</sub>	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'019.238
X <sub>3,5,8,2</sub>	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'019.238
X <sub>3,4,11,2</sub>	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	413.503
X <sub>3,5,11,2</sub>	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C		413.503
X <sub>3,4,12,2</sub>	Plataforma	MP2 BB	C.A.	Planta 1	117.631
X <sub>3,5,12,2</sub>	Plataforma	MP3 BB	C.A.	Planta 1	117.631
X <sub>3,7,1,2</sub>	Plataforma	PT1	Planta 1	Bogotá	351.617
X <sub>3,7,2,2</sub>	Plataforma	PT1	Planta 1	C.A.	274.617
X <sub>3,7,4,2</sub>	Plataforma	PT1	Planta 2	Bogotá	124.991
X <sub>3,7,5,2</sub>	Plataforma	PT1	Planta 2	C.A.	180.707
X <sub>3,9,16,1</sub>	Plataforma	Vacio	C.A.	Proveedor C	189.204
X <sub>3,9,17,2</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	C.A.	48.955
X <sub>3,9,18,2</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	Planta 1	123.805
X <sub>3,9,19,2</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	Planta 2	68.949
X <sub>3,9,22,2</sub>	Plataforma	Vacio	Bogotá	Proveedor C	177.679
X <sub>3,9,25,2</sub>	Plataforma	Vacio	Planta 1	Proveedor C	314.993
X <sub>3,9,28,2</sub>	Plataforma	Vacio	Planta 2	Proveedor C	121.003
X <sub>4,1,6,2</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	1'003.772
X <sub>4,1,7,2</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	1'030.630
X <sub>4,2,8,2</sub>	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'074.190
X <sub>4,3,8,2</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	1'074.190
X <sub>4,4,8,2</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'082.644
X <sub>4,5,8,2</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'082.644
X <sub>4,1,9,2</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor A	C.A.	477.060
X <sub>4,1,10,2</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor B	C.A.	495.130
X <sub>4,2,11,2</sub>	Multipropósito	MP2	Proveedor C	C.A.	419.690
X <sub>4,3,11,2</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	C.A.	419.690
X <sub>4,4,11,2</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	427.889
X <sub>4,5,11,2</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	427.889
X <sub>4,1,12,2</sub>	Multipropósito	MP1	C.A.	Planta 1	96.688
X <sub>4,2,12,2</sub>	Multipropósito	MP2	C.A.	Planta 1	96.688

$X_{ijkl}$	Contenedor	Carga	RUTA		$C_{ijkl}$ (\$/viaje)
			Origen	Destino	
$X_{4,3,12,2}$	Multipropósito	MP3	C.A.	Planta 1	96.688
$X_{4,4,12,2}$	Multipropósito	MP2 BB	C.A.	Planta 1	105.657
$X_{4,5,12,2}$	Multipropósito	MP3 BB	C.A.	Planta 1	105.657
$X_{4,6,2,2}$	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	292.190
$X_{4,6,3,2}$	Multipropósito	PI	Planta 1	C.A.	439.880
$X_{4,6,13,2}$	Multipropósito	PI	C.A.	Planta 2	144.500
$X_{4,7,1,2}$	Multipropósito	PT1	Planta 1	Bogotá	352.750
$X_{4,7,2,2}$	Multipropósito	PT1	Planta 1	C.A.	292.190
$X_{4,7,4,2}$	Multipropósito	PT1	Planta 2	Bogotá	126.440
$X_{4,7,5,2}$	Multipropósito	PT1	Planta 2	C.A.	191.250
$X_{4,9,5,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 2	C.A.	89.398
$X_{4,9,14,2}$	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor A	169.534
$X_{4,9,15,2}$	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor B	53.851
$X_{4,9,16,2}$	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor C	75.844
$X_{4,9,17,2}$	Multipropósito	Vacío	Bogotá	C.A.	152.116
$X_{4,9,18,2}$	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 1	123.805
$X_{4,9,19,2}$	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 2	68.949
$X_{4,9,20,2}$	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor A	108.601
$X_{4,9,21,2}$	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor B	174.226
$X_{4,9,22,2}$	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor C	177.679
$X_{4,9,23,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor A	229.364
$X_{4,9,24,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor B	261.756
$X_{4,9,25,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor C	314.493
$X_{4,9,26,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor A	90.852
$X_{4,9,27,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor B	98.728
$X_{4,9,28,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor C	121.004
$X_{4,9,29,2}$	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Planta 1	158.387

**Tabla 45** Tarifas del contratista, estrategia 2

$X_{ijkl}$	Contenedor	Carga	RUTA		$C_{ijkl}$ (\$ / viaje)
			Origen	Destino	
$X_{1,8,1,3}$	Tanque	PT2	Planta 1	Bogotá	1'093.056
$X_{1,8,3,3}$	Tanque	PT2	Planta 2	Bogotá	416.000
$X_{2,1,6,3}$	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	1'553.632
$X_{2,1,7,3}$	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	1'553.632
$X_{2,2,8,3}$	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{2,3,8,3}$	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{2,1,9,3}$	Volco	MP1	Proveedor A	C.A.	950.464
$X_{2,1,10,3}$	Volco	MP1	Proveedor B	C.A.	950.464
$X_{2,2,11,3}$	Volco	MP2	Proveedor C	C.A.	950.464
$X_{2,3,11,3}$	Volco	MP3	Proveedor C	C.A.	950.464
$X_{2,1,12,3}$	Volco	MP1	C.A.	Planta 1	1'093.056
$X_{2,2,12,3}$	Volco	MP2	C.A.	Planta 1	1'093.056
$X_{2,3,12,3}$	Volco	MP3	C.A.	Planta 1	1'093.056
$X_{2,6,2,3}$	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	1'093.056
$X_{2,6,3,3}$	Volco	PI	Planta 1	C.A.	1'093.056
$X_{2,6,13,3}$	Volco	PI	C.A.	Planta 2	416.000
$X_{3,4,8,3}$	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{3,5,8,3}$	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1'553.632
$X_{3,4,11,3}$	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	950.464
$X_{3,5,11,3}$	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	950.464
$X_{3,4,12,3}$	Plataforma	MP2 BB	C.A.	Planta 1	1'093.056
$X_{3,5,12,3}$	Plataforma	MP3 BB	C.A.	Planta 1	1'093.056
$X_{3,7,1,3}$	Plataforma	PT1	Planta 1	Bogotá	1'093.056
$X_{3,7,2,3}$	Plataforma	PT1	Planta 1	C.A.	1'093.056
$X_{3,7,4,3}$	Plataforma	PT1	Planta 2	Bogotá	416.000
$X_{3,7,5,3}$	Plataforma	PT1	Planta 2	C.A.	416.000
$X_{4,1,6,3}$	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	1'650.734
$X_{4,1,7,3}$	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	1'650.734
$X_{4,2,8,3}$	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	1'650.734

<b>X<sub>ijkl</sub></b>	<b>Contenedor</b>	<b>Carga</b>	<b>RUTA</b>		<b>C<sub>ijkl</sub> (\$/viaje)</b>
			<b>Origen</b>	<b>Destino</b>	
X <sub>4,3,8,3</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	1´650.734
X <sub>4,4,8,3</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	1´650.734
X <sub>4,5,8,3</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	1´650.734
X <sub>4,1,9,3</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor A	C.A.	1´009.868
X <sub>4,1,10,3</sub>	Multipropósito	MP1	Proveedor B	C.A.	1´009.868
X <sub>4,2,11,3</sub>	Multipropósito	MP2	Proveedor C	C.A.	1´009.868
X <sub>4,3,11,3</sub>	Multipropósito	MP3	Proveedor C	C.A.	1´009.868
X <sub>4,4,11,3</sub>	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	1´009.868
X <sub>4,5,11,3</sub>	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	1´009.868
X <sub>4,1,12,3</sub>	Multipropósito	MP1	C.A.	Planta 1	1´161.372
X <sub>4,2,12,3</sub>	Multipropósito	MP2	C.A.	Planta 1	1´161.372
X <sub>4,3,12,3</sub>	Multipropósito	MP3	C.A.	Planta 1	1´161.372
X <sub>4,4,12,3</sub>	Multipropósito	MP2 BB	C.A.	Planta 1	1´161.372
X <sub>4,5,12,3</sub>	Multipropósito	MP3 BB	C.A.	Planta 1	1´161.372
X <sub>4,6,2,3</sub>	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	1´161.372
X <sub>4,6,3,3</sub>	Multipropósito	PI	Planta 1	C.A.	1´161.372
X <sub>4,6,13,3</sub>	Multipropósito	PI	C.A.	Planta 2	442.000
X <sub>4,7,1,3</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 1	Bogotá	1´161.372
X <sub>4,7,2,3</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 1	C.A.	1´161.372
X <sub>4,7,4,3</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 2	Bogotá	442.000
X <sub>4,7,5,3</sub>	Multipropósito	PT1	Planta 2	C.A.	442.000

## ANEXO C: TABLAS DE SOPORTE EN EL DISEÑO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Al comienzo del proyecto, la herramienta a utilizar era el programa WINQSB, el cual solamente permite variables con un solo índice, por esta razón se diseñaron unas tablas de soporte en el proceso de diseño de los modelos matemáticos, las cuales también fueron utilizadas en la formulación en GAMS.

**Tabla 46** Soporte en el diseño del modelo 1

X1,8,1,1	<b>1</b>	X3,7,3,1	<b>31</b>	<b>Viajes vacíos</b>	X4,9,7,2	<b>90</b>
X1,8,1,2	<b>2</b>	X3,7,3,2	<b>32</b>	X1,9,14,1	<b>61</b>	X4,9,8,1
X1,8,1,3	<b>3</b>	X3,7,3,3	<b>33</b>	X1,9,14,2	<b>62</b>	X4,9,8,2
X1,8,3,1	<b>4</b>	X4,1,4,1	<b>34</b>	X1,9,15,1	<b>63</b>	X4,9,9,1
X1,8,3,2	<b>5</b>	X4,1,4,2	<b>35</b>	X1,9,15,2	<b>64</b>	X4,9,9,2
X1,8,3,3	<b>6</b>	X4,1,4,3	<b>36</b>	X2,9,7,1	<b>65</b>	X4,9,10,1
X2,1,4,1	<b>7</b>	X4,1,5,1	<b>37</b>	X2,9,7,2	<b>66</b>	X4,9,10,2
X2,1,4,2	<b>8</b>	X4,1,5,2	<b>38</b>	X2,9,8,1	<b>67</b>	X4,9,11,1
X2,1,4,3	<b>9</b>	X4,1,5,3	<b>39</b>	X2,9,8,2	<b>68</b>	X4,9,11,2
X2,1,5,1	<b>10</b>	X4,2,6,1	<b>40</b>	X2,9,9,1	<b>69</b>	X4,9,12,1
X2,1,5,2	<b>11</b>	X4,2,6,2	<b>41</b>	X2,9,9,2	<b>70</b>	X4,9,12,2
X2,1,5,3	<b>12</b>	X4,2,6,3	<b>42</b>	X2,9,10,1	<b>71</b>	X4,9,13,1
X2,2,6,1	<b>13</b>	X4,3,6,1	<b>43</b>	X2,9,10,2	<b>72</b>	X4,9,13,2
X2,2,6,2	<b>14</b>	X4,3,6,2	<b>44</b>	X2,9,11,1	<b>73</b>	X4,9,14,1
X2,2,6,3	<b>15</b>	X4,3,6,3	<b>45</b>	X2,9,11,2	<b>74</b>	X4,9,14,2
X2,3,6,1	<b>16</b>	X4,4,6,1	<b>46</b>	X2,9,12,1	<b>75</b>	X4,9,15,1
X2,3,6,2	<b>17</b>	X4,4,6,2	<b>47</b>	X2,9,12,2	<b>76</b>	X4,9,15,2
X2,3,6,3	<b>18</b>	X4,4,6,3	<b>48</b>	X2,9,13,1	<b>77</b>	X4,9,16,1
X2,6,2,1	<b>19</b>	X4,5,6,1	<b>49</b>	X2,9,13,2	<b>78</b>	X4,9,16,2
X2,6,2,2	<b>20</b>	X4,5,6,2	<b>50</b>	X3,9,9,1	<b>79</b>	X4,9,17,1
X2,6,2,3	<b>21</b>	X4,5,6,3	<b>51</b>	X3,9,9,2	<b>80</b>	X4,9,17,2
X3,4,6,1	<b>22</b>	X4,6,2,1	<b>52</b>	X3,9,12,1	<b>81</b>	X4,9,18,1
X3,4,6,2	<b>23</b>	X4,6,2,2	<b>53</b>	X3,9,12,2	<b>82</b>	X4,9,18,2
X3,4,6,3	<b>24</b>	X4,6,2,3	<b>54</b>	X3,9,14,1	<b>83</b>	
X3,5,6,1	<b>25</b>	X4,7,1,1	<b>55</b>	X3,9,14,2	<b>84</b>	
X3,5,6,2	<b>26</b>	X4,7,1,2	<b>56</b>	X3,9,15,1	<b>85</b>	
X3,5,6,3	<b>27</b>	X4,7,1,3	<b>57</b>	X3,9,15,2	<b>86</b>	
X3,7,1,1	<b>28</b>	X4,7,3,1	<b>58</b>	X3,9,18,1	<b>87</b>	
X3,7,1,2	<b>29</b>	X4,7,3,2	<b>59</b>	X3,9,18,2	<b>88</b>	
X3,7,1,3	<b>30</b>	X4,7,3,3	<b>60</b>	X4,9,7,1	<b>89</b>	

**Tabla 47** Soporte en el diseño del modelo 2

X1,8,1,1	<b>1</b>	X2,3,12,2	<b>38</b>	X3,7,4,3	<b>75</b>	X4,5,11,1	<b>112</b>	X4,7,5,2	<b>149</b>	X3,9,22,1	<b>185</b>	X4,9,28,2	<b>222</b>
X1,8,1,2	<b>2</b>	X2,3,12,3	<b>39</b>	X3,7,5,1	<b>76</b>	X4,5,11,2	<b>113</b>	X4,7,5,3	<b>150</b>	X3,9,22,2	<b>186</b>	X4,9,29,1	<b>223</b>
X1,8,1,3	<b>3</b>	X2,6,2,1	<b>40</b>	X3,7,5,2	<b>77</b>	X4,5,11,3	<b>114</b>	<b>Viajes vacíos</b>		X3,9,25,1	<b>187</b>	X4,9,29,2	<b>224</b>
X1,8,4,1	<b>4</b>	X2,6,2,2	<b>41</b>	X3,7,5,3	<b>78</b>	X4,1,12,1	<b>115</b>	X1,9,18,1	<b>151</b>	X3,9,25,2	<b>188</b>	A1	<b>225</b>
X1,8,4,2	<b>5</b>	X2,6,2,3	<b>42</b>	X4,1,6,1	<b>79</b>	X4,1,12,2	<b>116</b>	X1,9,18,2	<b>152</b>	X3,9,28,1	<b>189</b>	A2	<b>226</b>
X1,8,4,3	<b>6</b>	X2,6,3,1	<b>43</b>	X4,1,6,2	<b>80</b>	X4,1,12,3	<b>117</b>	X1,9,19,1	<b>153</b>	X3,9,28,2	<b>190</b>	A3	<b>227</b>
X2,1,6,1	<b>7</b>	X2,6,3,2	<b>44</b>	X4,1,6,3	<b>81</b>	X4,2,12,1	<b>118</b>	X1,9,19,2	<b>154</b>	X4,9,5,1	<b>191</b>	A4	<b>228</b>
X2,1,6,2	<b>8</b>	X2,6,3,3	<b>45</b>	X4,1,7,1	<b>82</b>	X4,2,12,2	<b>119</b>	X2,9,5,1	<b>155</b>	X4,9,5,2	<b>192</b>	A5	<b>229</b>
X2,1,6,3	<b>9</b>	X2,6,13,1	<b>46</b>	X4,1,7,2	<b>83</b>	X4,2,12,3	<b>120</b>	X2,9,5,2	<b>156</b>	X4,9,14,1	<b>193</b>	A6	<b>230</b>
X2,1,7,1	<b>10</b>	X2,6,13,2	<b>47</b>	X4,1,7,3	<b>84</b>	X4,3,12,1	<b>121</b>	X2,9,14,1	<b>157</b>	X4,9,14,2	<b>194</b>		
X2,1,7,2	<b>11</b>	X2,6,13,3	<b>48</b>	X4,2,8,1	<b>85</b>	X4,3,12,2	<b>122</b>	X2,9,14,2	<b>158</b>	X4,9,15,1	<b>195</b>		
X2,1,7,3	<b>12</b>	X3,4,8,1	<b>49</b>	X4,2,8,2	<b>86</b>	X4,3,12,3	<b>123</b>	X2,9,15,1	<b>159</b>	X4,9,15,2	<b>196</b>		
X2,2,8,1	<b>13</b>	X3,4,8,2	<b>50</b>	X4,2,8,3	<b>87</b>	X4,4,12,1	<b>124</b>	X2,9,15,2	<b>160</b>	X4,9,16,1	<b>197</b>		
X2,2,8,2	<b>14</b>	X3,4,8,3	<b>51</b>	X4,3,8,1	<b>88</b>	X4,4,12,2	<b>125</b>	X2,9,16,1	<b>161</b>	X4,9,16,2	<b>198</b>		
X2,2,8,3	<b>15</b>	X3,5,8,1	<b>52</b>	X4,3,8,2	<b>89</b>	X4,4,12,3	<b>126</b>	X2,9,16,2	<b>162</b>	X4,9,17,1	<b>199</b>		
X2,3,8,1	<b>16</b>	X3,5,8,2	<b>53</b>	X4,3,8,3	<b>90</b>	X4,5,12,1	<b>127</b>	X2,9,23,1	<b>163</b>	X4,9,17,2	<b>200</b>		
X2,3,8,2	<b>17</b>	X3,5,8,3	<b>54</b>	X4,4,8,1	<b>91</b>	X4,5,12,2	<b>128</b>	X2,9,23,2	<b>164</b>	X4,9,18,1	<b>201</b>		
X2,3,8,3	<b>18</b>	X3,4,11,1	<b>55</b>	X4,4,8,2	<b>92</b>	X4,5,12,3	<b>129</b>	X2,9,24,1	<b>165</b>	X4,9,18,2	<b>202</b>		
X2,1,9,1	<b>19</b>	X3,4,11,2	<b>56</b>	X4,4,8,3	<b>93</b>	X4,6,2,1	<b>130</b>	X2,9,24,2	<b>166</b>	X4,9,19,1	<b>203</b>		
X2,1,9,2	<b>20</b>	X3,4,11,3	<b>57</b>	X4,5,8,1	<b>94</b>	X4,6,2,2	<b>131</b>	X2,9,25,1	<b>167</b>	X4,9,19,2	<b>204</b>		
X2,1,9,3	<b>21</b>	X3,5,11,1	<b>58</b>	X4,5,8,2	<b>95</b>	X4,6,2,3	<b>132</b>	X2,9,25,2	<b>168</b>	X4,9,20,1	<b>205</b>		
X2,1,10,1	<b>22</b>	X3,5,11,2	<b>59</b>	X4,5,8,3	<b>96</b>	X4,6,3,1	<b>133</b>	X2,9,26,1	<b>169</b>	X4,9,20,2	<b>206</b>		
X2,1,10,2	<b>23</b>	X3,5,11,3	<b>60</b>	X4,1,9,1	<b>97</b>	X4,6,3,2	<b>134</b>	X2,9,26,2	<b>170</b>	X4,9,21,1	<b>207</b>		
X2,1,10,3	<b>24</b>	X3,4,12,1	<b>61</b>	X4,1,9,2	<b>98</b>	X4,6,3,3	<b>135</b>	X2,9,27,1	<b>171</b>	X4,9,21,2	<b>208</b>		
X2,2,11,1	<b>25</b>	X3,4,12,2	<b>62</b>	X4,1,9,3	<b>99</b>	X4,6,13,1	<b>136</b>	X2,9,27,2	<b>172</b>	X4,9,22,1	<b>209</b>		
X2,2,11,2	<b>26</b>	X3,4,12,3	<b>63</b>	X4,1,10,1	<b>100</b>	X4,6,13,2	<b>137</b>	X2,9,28,1	<b>173</b>	X4,9,22,2	<b>210</b>		
X2,2,11,3	<b>27</b>	X3,5,12,1	<b>64</b>	X4,1,10,2	<b>101</b>	X4,6,13,3	<b>138</b>	X2,9,28,2	<b>174</b>	X4,9,23,1	<b>211</b>		
X2,3,11,1	<b>28</b>	X3,5,12,2	<b>65</b>	X4,1,10,3	<b>102</b>	X4,7,1,1	<b>139</b>	X2,9,29,1	<b>175</b>	X4,9,23,2	<b>212</b>		
X2,3,11,2	<b>29</b>	X3,5,12,3	<b>66</b>	X4,2,11,1	<b>103</b>	X4,7,1,2	<b>140</b>	X2,9,29,2	<b>176</b>	X4,9,24,1	<b>213</b>		
X2,3,11,3	<b>30</b>	X3,7,1,1	<b>67</b>	X4,2,11,2	<b>104</b>	X4,7,1,3	<b>141</b>	X3,9,16,1	<b>177</b>	X4,9,24,2	<b>214</b>		
X2,1,12,1	<b>31</b>	X3,7,1,2	<b>68</b>	X4,2,11,3	<b>105</b>	X4,7,2,1	<b>142</b>	X3,9,16,2	<b>178</b>	X4,9,25,1	<b>215</b>		
X2,1,12,2	<b>32</b>	X3,7,1,3	<b>69</b>	X4,3,11,1	<b>106</b>	X4,7,2,2	<b>143</b>	X3,9,17,1	<b>179</b>	X4,9,25,2	<b>216</b>		
X2,1,12,3	<b>33</b>	X3,7,2,1	<b>70</b>	X4,3,11,2	<b>107</b>	X4,7,2,3	<b>144</b>	X3,9,17,2	<b>180</b>	X4,9,26,1	<b>217</b>		
X2,2,12,1	<b>34</b>	X3,7,2,2	<b>71</b>	X4,3,11,3	<b>108</b>	X4,7,4,1	<b>145</b>	X3,9,18,1	<b>181</b>	X4,9,26,2	<b>218</b>		
X2,2,12,2	<b>35</b>	X3,7,2,3	<b>72</b>	X4,4,11,1	<b>109</b>	X4,7,4,2	<b>146</b>	X3,9,18,2	<b>182</b>	X4,9,27,1	<b>219</b>		
X2,2,12,3	<b>36</b>	X3,7,4,1	<b>73</b>	X4,4,11,2	<b>110</b>	X4,7,4,3	<b>147</b>	X3,9,19,1	<b>183</b>	X4,9,27,2	<b>220</b>		
X2,3,12,1	<b>37</b>	X3,7,4,2	<b>74</b>	X4,4,11,3	<b>111</b>	X4,7,5,1	<b>148</b>	X3,9,19,2	<b>184</b>	X4,9,28,1	<b>221</b>		



## ANEXO D: RESULTADOS GAMS

A continuación se presentan los resultados que el programa GAMS obtuvo para cada modelo matemático.

### Resultados del modelo 1

GAMS Rev 133 Windows NT/95/98

05/16/05 10:40:23 Page 1

General Algebraic Modeling System  
Compilation

```
1 * cedi bogota, general
2
3 sets
4
5 i codigo de viaje /1*112/;
6
7 options optcr=0.00001;
8 variables
9
10 x(i) viajes
11 f funcion objetivo ;
12 integer variable x ;
13
14 equations
15 ob funcion objetivo
16 d1 demanda pt1 cedi bogota
17 d2 demanda pt2 cedi bogota
18 d3 demanda pi planta2
19 d4 demanda mp1 granel planta1
20 d5 demanda mp2 granel planta1
21 d6 demanda mp3 granel planta1
22 d7 demanda mp2 bigbags planta 1
23 d8 demanda mp3 bigbags planta 1
24 o1 oferta pt1 planta1
25 o2 oferta pt1 planta2
26 o3 oferta pt2 planta1
```



27 o4 oferta pt2 planta2  
 28 o5 oferta pi planta1  
 29 o6 oferta mp1 granel proveedor a  
 30 o7 oferta mp1 granel proveedor b  
 31 o8 oferta mp2 granel proveedor c  
 32 o9 oferta mp3 granel proveedor c  
 33 o10 oferta mp2 bigbags proveedor c  
 34 o11 oferta mp3 bigbags proveedor c  
 35 dftp disponibilidad tanques propios  
 36 dfvp disponibilidad volcos propios  
 37 dfpp disponibilidad plataformas propias  
 38 dfmp disponibilidad multipropósitos propios  
 39 dfta disponibilidad tanques alquilados  
 40 dfva disponibilidad volcos alquilados  
 41 dfpa disponibilidad plataformas alquiladas  
 42 dfma disponibilidad multipropósitos alquilados  
 43 vtp1 vacíos tanque propios 1  
 44 vtp2 vacíos tanque propios 2  
 45 vpp1 vacíos plataforma propios 1  
 46 vpp2 vacíos plataforma propios 2  
 47 vvp1 vacíos volco propios 1  
 48 vvp2 vacíos volco propios 2  
 49 vvp3 vacíos volco propios 3  
 50 vvp4 vacíos volco propios 4  
 51 vmp1 vacíos multipropósito propios 1  
 52 vmp2 vacíos multipropósito propios 2  
 53 vmp3 vacíos multipropósito propios 3  
 54 vmp4 vacíos multipropósito propios 4  
 55 vmp5 vacíos multipropósito propios 5  
 56 vta1 vacíos tanque alquilados 1  
 57 vta2 vacíos tanque alquilados 2  
 58 vpa1 vacíos plataforma alquilados 1  
 59 vpa2 vacíos plataforma alquilados 2  
 60 vva1 vacíos volco alquilados 1  
 61 vva2 vacíos volco alquilados 2  
 62 vva3 vacíos volco alquilados 3  
 63 vva4 vacíos volco alquilados 4  
 64 vma1 vacíos multipropósito alquilados 1  
 65 vma2 vacíos multipropósito alquilados 2  
 66 vma3 vacíos multipropósito alquilados 3  
 67 vma4 vacíos multipropósito alquilados 4  
 68 vma5 vacíos multipropósito alquilados 5  
 69  
 70  
 71 ob,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,d8,o1,o2,o3,o4,o5,o6,o7,o8,o9,o10,o11,dftp,dfvp,  
 dfpp,dfmp,dfta,dfva,dfpa,dfma,vtp1,vtp2,vpp1,vpp2,vvp1,vvp2,vvp3,vvp4,vmp1  
 ,vmp2,vmp3,vmp4,vmp5,vta1,vta2,vpa1,vpa2,vva1,vva2,vva3,vva4,vma1,vma2,vma  
 3,vma4,vma5;  
 72

73 ob..

$$305*x('1')+332*x('2')+1093*x('3')+100*x('4')+125*x('5')+416*x('6')+890*x('7')+945*x('8')+1553*x('9')+926*x('10')+970*x('11')+1553*x('12')+963*x('13')+1011*x('14')+1553*x('15')+963*x('16')+1011*x('17')+1553*x('18')+399*x('19')+414*x('20')+1093*x('21')+972*x('22')+1020*x('23')+1553*x('24')+972*x('25')+1020*x('26')+1553*x('27')+325*x('28')+352*x('29')+1093*x('30')+100*x('31')+125*x('32')+416*x('33')+946*x('34')+1004*x('35')+1651*x('36')+984*x('37')+1031*x('38')+1651*x('39')+1023*x('40')+1074*x('41')+1651*x('42')+1023*x('43')+1074*x('44')+1651*x('45')+1032*x('46')+1083*x('47')+1651*x('48')+1032*x('49')+1083*x('50')+1651*x('51')+423*x('52')+440*x('53')+1093*x('54')+324*x('55')+353*x('56')+1093*x('57')+100*x('58')+125*x('59')+416*x('60')+100*x('61')+125*x('62')+50*x('63')+70*x('64')+198*x('65')+229*x('66')+224*x('67')+262*x('68')+270*x('69')+315*x('70')+76*x('71')+91*x('72')+81*x('73')+99*x('74')+98*x('75')+121*x('76')+138*x('77')+159*x('78')+270*x('79')+315*x('80')+98*x('81')+121*x('82')+100*x('83')+125*x('84')+50*x('85')+70*x('86')+133*x('87')+155*x('88')+198*x('89')+229*x('90')+224*x('91')+262*x('92')+270*x('93')+315*x('94')+76*x('95')+91*x('96')+81*x('97')+99*x('98')+98*x('99')+121*x('100')+138*x('101')+159*x('102')+100*x('103')+125*x('104')+50*x('105')+70*x('106')+85*x('107')+106*x('108')+111*x('109')+139*x('110')+133*x('111')+155*x('112')=e=f;$$

74

$$d1..32*x('28')+32*x('29')+32*x('30')+32*x('31')+32*x('32')+32*x('33')+34*x('55')+34*x('56')+34*x('57')+34*x('58')+34*x('59')+34*x('60')=g=3584;$$

$$75 \quad d2.. \quad 32*x('1')+32*x('2')+32*x('3')+32*x('4')+32*x('5')+32*x('6')=g=6528;$$

$$76 \quad d3.. \quad 32*x('19')+32*x('20')+32*x('21')+34*x('52')+34*x('53')+34*x('54')=g=1280;$$

77

$$d4..32*x('7')+32*x('8')+32*x('9')+32*x('10')+32*x('11')+32*x('12')+34*x('34')+34*x('35')+34*x('36')+34*x('37')+34*x('38')+34*x('39')=g=2048;$$

$$78 \quad d5.. \quad 32*x('13')+32*x('14')+32*x('15')+34*x('40')+34*x('41')+34*x('42')=g=832;$$

$$79 \quad d6.. \quad 32*x('16')+32*x('17')+32*x('18')+34*x('43')+34*x('44')+34*x('45')=g=704;$$

$$80 \quad d7.. \quad 32*x('22')+32*x('23')+32*x('24')+34*x('46')+34*x('47')+34*x('48')=g=544;$$

$$81 \quad d8.. \quad 32*x('25')+32*x('26')+32*x('27')+34*x('49')+34*x('50')+34*x('51')=g=480;$$

$$82 \quad o1.. \quad 32*x('28')+32*x('29')+32*x('30')+34*x('55')+34*x('56')+34*x('57')=l=4800;$$

$$83 \quad o2.. \quad 32*x('31')+32*x('32')+32*x('33')+34*x('58')+34*x('59')+34*x('60')=l=1200;$$

$$84 \quad o3.. \quad 32*x('1')+32*x('2')+32*x('3')=l=4992;$$

$$85 \quad o4.. \quad 32*x('4')+32*x('5')+32*x('6')=l=1565;$$

$$86 \quad o5.. \quad 32*x('19')+32*x('20')+32*x('21')+34*x('52')+34*x('53')+34*x('54')=l=1400;$$

$$87 \quad o6.. \quad 32*x('7')+32*x('8')+32*x('9')+34*x('34')+34*x('35')+34*x('36')=l=1800;$$

$$88 \quad o7.. \quad 32*x('10')+32*x('11')+32*x('12')+34*x('37')+34*x('38')+34*x('39')=l=1800;$$

$$89 \quad o8.. \quad 32*x('13')+32*x('14')+32*x('15')+34*x('40')+34*x('41')+34*x('42')=l=1600;$$

$$90 \quad o9.. \quad 32*x('16')+32*x('17')+32*x('18')+34*x('43')+34*x('44')+34*x('45')=l=1300;$$

$$91 \quad o10.. \quad 32*x('22')+32*x('23')+32*x('24')+34*x('46')+34*x('47')+34*x('48')=l=1200;$$

$$92 \quad o11.. \quad 32*x('25')+32*x('26')+32*x('27')+34*x('49')+34*x('50')+34*x('51')=l=1000;$$

$$93 \quad dfpp.. \quad 7*x('1')+3*x('4')+5*x('61')+2*x('63')=l=1104;$$

94 dfvp..

$$10*x('7')+12*x('10')+15*x('13')+15*x('16')+8*x('19')+7*x('65')+9*x('67')+11*x('69')+4*x('71')+6*x('73')+9*x('75')+4*x('77')=l=2208;$$

95 dfpp..

$$7*x('28')+3*x('31')+15*x('22')+15*x('25')+11*x('79')+9*x('81')+5*x('83')+2*x('85')+10*x('87')=l=1104;$$

96 dfmp..

$$7*x('55')+3*x('58')+8*x('52')+10*x('34')+12*x('37')+15*x('40')+15*x('43')+15*x('46')+15*x('49')$$

```

)+7*x('89')+9*x('91')+11*x('93')+4*x('95')+6*x('97')+9*x('99')+4*x('101')+5*x('103')+2*x('105'
)+6*x('107')+8*x('109')+10*x('111')=I=2760;
97  dfda.. 7*x('2')+3*x('5')+5*x('62')+2*x('64')=I=552;
98  dfva..
10*x('8')+12*x('11')+15*x('14')+15*x('17')+8*x('20')+7*x('66')+9*x('68')+11*x('70')+4*x('72')+
6*x('74')+9*x('76')+4*x('78')=I=1104;
99  dfpa.. 7*x('29')+3*x('32')+15*x('23')+15*x('26')+11*x('80')+9*x('82')+
5*x('84')+2*x('86')+10*x('88')=I=1104;
100 dfma..
7*x('56')+3*x('59')+8*x('53')+10*x('35')+12*x('38')+15*x('41')+15*x('44')+15*x('47')+15*x('50'
)+7*x('90')+9*x('92')+11*x('94')+4*x('96')+6*x('98')+9*x('100')+4*x('102')+5*x('104')+2*x('10
6')+6*x('108')+8*x('110')+10*x('112')=I=1104;
101 vtp1.. x('1')=e=x('61');
102 vtp2.. x('4')=e=x('63');
103 vpp1.. x('28')+x('31')=e=x('83')+x('85')+x('87');
104 vpp2.. x('22')+x('25')=e=x('79')+x('81')+x('87');
105 vvp1.. x('19')=e=x('71')+x('73')+x('75')+x('77');
106 vvp2.. x('7')=e=x('65')+x('71');
107 vvp3.. x('10')=e=x('67')+x('73');
108 vvp4.. x('13')+x('16')=e=x('69')+x('75');
109 vmp1.. x('55')+x('58')=e=x('103')+x('105')+x('107')+x('109')+x('111');
110 vmp2.. x('52')+x('105')=e=x('95')+x('97')+x('99')+x('101');
111 vmp3.. x('34')=e=x('89')+x('95')+x('107');
112 vmp4.. x('37')=e=x('91')+x('97')+x('109');
113 vmp5.. x('40')+x('43')+x('46')+x('49')=e=x('93')+x('99')+x('111');
114 vta1.. x('2')=e=x('62');
115 vta2.. x('5')=e=x('64');
116 vpa1.. x('29')+x('32')=e=x('84')+x('86')+x('88');
117 vpa2.. x('23')+x('26')=e=x('80')+x('82')+x('88');
118 vva1.. x('20')=e=x('72')+x('74')+x('76')+x('78');
119 vva2.. x('8')=e=x('66')+x('72');
120 vva3.. x('11')=e=x('68')+x('74');
121 vva4.. x('14')+x('17')=e=x('70')+x('76');
122 vma1.. x('56')+x('59')=e=x('104')+x('106')+x('108')+x('110')+x('112');
123 vma2.. x('53')+x('106')=e=x('96')+x('98')+x('100')+x('102');
124 vma3.. x('35')=e=x('90')+x('96')+x('108');
125 vma4.. x('38')=e=x('92')+x('98')+x('110');
126 vma5.. x('41')+x('44')+x('47')+x('50')=e=x('94')+x('100')+x('112');
127
128 model ent1 /all/;
129
130 solve ent1 using mip minimizing f;
COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 0.8 Mb WIN207-133

```

---- ob =E= funcion objetivo

```

ob.. 305*x(1) + 332*x(2) + 1093*x(3) + 100*x(4) + 125*x(5) + 416*x(6)
+ 890*x(7) + 945*x(8) + 1553*x(9) + 926*x(10) + 970*x(11) + 1553*x(12)

```

$$\begin{aligned}
& + 963*x(13) + 1011*x(14) + 1553*x(15) + 963*x(16) + 1011*x(17) \\
& + 1553*x(18) + 399*x(19) + 414*x(20) + 1093*x(21) + 972*x(22) + 1020*x(23) \\
& + 1553*x(24) + 972*x(25) + 1020*x(26) + 1553*x(27) + 325*x(28) + 352*x(29) \\
& + 1093*x(30) + 100*x(31) + 125*x(32) + 416*x(33) + 946*x(34) + 1004*x(35) \\
& + 1651*x(36) + 984*x(37) + 1031*x(38) + 1651*x(39) + 1023*x(40) \\
& + 1074*x(41) + 1651*x(42) + 1023*x(43) + 1074*x(44) + 1651*x(45) \\
& + 1032*x(46) + 1083*x(47) + 1651*x(48) + 1032*x(49) + 1083*x(50) \\
& + 1651*x(51) + 423*x(52) + 440*x(53) + 1093*x(54) + 324*x(55) + 353*x(56) \\
& + 1093*x(57) + 100*x(58) + 125*x(59) + 416*x(60) + 100*x(61) + 125*x(62) \\
& + 50*x(63) + 70*x(64) + 198*x(65) + 229*x(66) + 224*x(67) + 262*x(68) \\
& + 270*x(69) + 315*x(70) + 76*x(71) + 91*x(72) + 81*x(73) + 99*x(74) \\
& + 98*x(75) + 121*x(76) + 138*x(77) + 159*x(78) + 270*x(79) + 315*x(80) \\
& + 98*x(81) + 121*x(82) + 100*x(83) + 125*x(84) + 50*x(85) + 70*x(86) \\
& + 133*x(87) + 155*x(88) + 198*x(89) + 229*x(90) + 224*x(91) + 262*x(92) \\
& + 270*x(93) + 315*x(94) + 76*x(95) + 91*x(96) + 81*x(97) + 99*x(98) \\
& + 98*x(99) + 121*x(100) + 138*x(101) + 159*x(102) + 100*x(103) \\
& + 125*x(104) + 50*x(105) + 70*x(106) + 85*x(107) + 106*x(108) + 111*x(109) \\
& + 139*x(110) + 133*x(111) + 155*x(112) - f = E = 0 ; (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- d1 =G= demanda pt1 cedi bogota

$$\begin{aligned}
d1.. & 32*x(28) + 32*x(29) + 32*x(30) + 32*x(31) + 32*x(32) + 32*x(33) + 34*x(55) \\
& + 34*x(56) + 34*x(57) + 34*x(58) + 34*x(59) + 34*x(60) =G= 3584 ; \\
& (LHS = 0, INFES = 3584 ***)
\end{aligned}$$

---- d2 =G= demanda pt2 cedi bogota

$$d2.. 32*x(1) + 32*x(2) + 32*x(3) + 32*x(4) + 32*x(5) + 32*x(6) =G= 6528 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 6528 ***)$$

---- d3 =G= demanda pi planta2

$$d3.. 32*x(19) + 32*x(20) + 32*x(21) + 34*x(52) + 34*x(53) + 34*x(54) =G= 1280 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 1280 ***)$$

---- d4 =G= demanda mp1 granel planta1

$$d4.. 32*x(7) + 32*x(8) + 32*x(9) + 32*x(10) + 32*x(11) + 32*x(12) + 34*x(34)$$

$$+ 34*x(35) + 34*x(36) + 34*x(37) + 34*x(38) + 34*x(39) =G= 2048 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 2048 ***)$$

---- d5 =G= demanda mp2 granel planta1

$$d5.. 32*x(13) + 32*x(14) + 32*x(15) + 34*x(40) + 34*x(41) + 34*x(42) =G= 832 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 832 ***)$$

---- d6 =G= demanda mp3 granel planta1

$$d6.. 32*x(16) + 32*x(17) + 32*x(18) + 34*x(43) + 34*x(44) + 34*x(45) =G= 704 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 704 ***)$$

---- d7 =G= demanda mp2 bigbags planta 1

$$d7.. 32*x(22) + 32*x(23) + 32*x(24) + 34*x(46) + 34*x(47) + 34*x(48) =G= 544 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 544 ***)$$

---- d8 =G= demanda mp3 bigbags planta 1

$$d8.. 32*x(25) + 32*x(26) + 32*x(27) + 34*x(49) + 34*x(50) + 34*x(51) =G= 480 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 480 ***)$$

---- o1 =L= oferta pt1 planta1

o1 =L= oferta pt1 planta1

$$\text{o1.. } 32*x(28) + 32*x(29) + 32*x(30) + 34*x(55) + 34*x(56) + 34*x(57) =L= 4800 ;$$

(LHS = 0)

---- o2 =L= oferta pt1 planta2

$$\text{o2.. } 32*x(31) + 32*x(32) + 32*x(33) + 34*x(58) + 34*x(59) + 34*x(60) =L= 1200 ;$$

(LHS = 0)

---- o3 =L= oferta pt2 planta1

$$\text{o3.. } 32*x(1) + 32*x(2) + 32*x(3) =L= 4992 ; \text{ (LHS = 0)}$$

---- o4 =L= oferta pt2 planta2

$$\text{o4.. } 32*x(4) + 32*x(5) + 32*x(6) =L= 1565 ; \text{ (LHS = 0)}$$

---- o5 =L= oferta pi planta1

$$\text{o5.. } 32*x(19) + 32*x(20) + 32*x(21) + 34*x(52) + 34*x(53) + 34*x(54) =L= 1400 ;$$

(LHS = 0)

---- o6 =L= oferta mp1 granel proveedor a

$$\text{o6.. } 32*x(7) + 32*x(8) + 32*x(9) + 34*x(34) + 34*x(35) + 34*x(36) =L= 1800 ;$$

(LHS = 0)

---- o7 =L= oferta mp1 granel proveedor b

$$\text{o7.. } 32*x(10) + 32*x(11) + 32*x(12) + 34*x(37) + 34*x(38) + 34*x(39) =L= 1800 ;$$

(LHS = 0)

---- o8 =L= oferta mp2 granel proveedor c

$$\text{o8.. } 32*x(13) + 32*x(14) + 32*x(15) + 34*x(40) + 34*x(41) + 34*x(42) =L= 1600 ;$$

(LHS = 0)

---- o9 =L= oferta mp3 granel proveedor c

$$o9.. 32*x(16) + 32*x(17) + 32*x(18) + 34*x(43) + 34*x(44) + 34*x(45) =L= 1300 ;$$

(LHS = 0)

---- o10 =L= oferta mp2 bigbags proveedor c

$$o10.. 32*x(22) + 32*x(23) + 32*x(24) + 34*x(46) + 34*x(47) + 34*x(48) =L= 1200 ; (LHS = 0)$$

---- o11 =L= oferta mp3 bigbags proveedor c

$$o11.. 32*x(25) + 32*x(26) + 32*x(27) + 34*x(49) + 34*x(50) + 34*x(51) =L= 1000 ; (LHS = 0)$$

---- dftp =L= disponibilidad tanques propios

$$dftp.. 7*x(1) + 3*x(4) + 5*x(61) + 2*x(63) =L= 1104 ; (LHS = 0)$$

---- dfvp =L= disponibilidad volcos propios

$$dfvp.. 10*x(7) + 12*x(10) + 15*x(13) + 15*x(16) + 8*x(19) + 7*x(65) + 9*x(67) + 11*x(69) + 4*x(71) + 6*x(73) + 9*x(75) + 4*x(77) =L= 2208 ; (LHS = 0)$$

---- dfpp =L= disponibilidad plataformas propias

$$dfpp.. 15*x(22) + 15*x(25) + 7*x(28) + 3*x(31) + 11*x(79) + 9*x(81) + 5*x(83) + 2*x(85) + 10*x(87) =L= 1104 ; (LHS = 0)$$

---- dfmp =L= disponibilidad multipropósitos propios

$$dfmp.. 10*x(34) + 12*x(37) + 15*x(40) + 15*x(43) + 15*x(46) + 15*x(49) + 8*x(52) + 7*x(55) + 3*x(58) + 7*x(89) + 9*x(91) + 11*x(93) + 4*x(95) + 6*x(97) + 9*x(99) + 4*x(101) + 5*x(103) + 2*x(105) + 6*x(107) + 8*x(109)$$

$$+ 10*x(111) =L= 2760 ; (LHS = 0)$$

---- dfta =L= disponibilidad tanques alquilados

$$dfta.. 7*x(2) + 3*x(5) + 5*x(62) + 2*x(64) =L= 552 ; (LHS = 0)$$

---- dfva =L= disponibilidad volcos alquilados

$$dfva.. 10*x(8) + 12*x(11) + 15*x(14) + 15*x(17) + 8*x(20) + 7*x(66) + 9*x(68) \\ + 11*x(70) + 4*x(72) + 6*x(74) + 9*x(76) + 4*x(78) =L= 1104 ; (LHS = 0)$$

---- dfpa =L= disponibilidad plataformas alquiladas

$$dfpa.. 15*x(23) + 15*x(26) + 7*x(29) + 3*x(32) + 11*x(80) + 9*x(82) + 5*x(84) \\ + 2*x(86) + 10*x(88) =L= 1104 ; (LHS = 0)$$

---- dfma =L= disponibilidad multipropósitos alquilados

$$dfma.. 10*x(35) + 12*x(38) + 15*x(41) + 15*x(44) + 15*x(47) + 15*x(50) \\ + 8*x(53) + 7*x(56) + 3*x(59) + 7*x(90) + 9*x(92) + 11*x(94) + 4*x(96) \\ + 6*x(98) + 9*x(100) + 4*x(102) + 5*x(104) + 2*x(106) + 6*x(108) \\ + 8*x(110) + 10*x(112) =L= 1104 ; (LHS = 0)$$

---- vtp1 =E= vacios tanque propios 1

$$vtp1.. x(1) - x(61) =E= 0 ; (LHS = 0)$$

---- vtp2 =E= vacios tanque propios 2

$$vtp2.. x(4) - x(63) =E= 0 ; (LHS = 0)$$

---- vpp1 =E= vacios plataforma propios 1

$$vpp1.. x(28) + x(31) - x(83) - x(85) - x(87) =E= 0 ; (LHS = 0)$$

---- vpp2 =E= vacios plataforma propios 2

$$\text{vpp2.. } x(22) + x(25) - x(79) - x(81) - x(87) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vvp1 =E= vacios volco propios 1

$$\text{vvp1.. } x(19) - x(71) - x(73) - x(75) - x(77) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vvp2 =E= vacios volco propios 2

$$\text{vvp2.. } x(7) - x(65) - x(71) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vvp3 =E= vacios volco propios 3

$$\text{vvp3.. } x(10) - x(67) - x(73) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vvp4 =E= vacios volco propios 4

$$\text{vvp4.. } x(13) + x(16) - x(69) - x(75) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp1 =E= vacios multiproposito propios 1

$$\text{vmp1.. } x(55) + x(58) - x(103) - x(105) - x(107) - x(109) - x(111) =E= 0 ;$$

(LHS = 0)

---- vmp2 =E= vacios multiproposito propios 2

$$\text{vmp2.. } x(52) - x(95) - x(97) - x(99) - x(101) + x(105) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp3 =E= vacios multiproposito propios 3

$$\text{vmp3.. } x(34) - x(89) - x(95) - x(107) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp4 =E= vacios multiproposito propios 4

$$\text{vmp4.. } x(37) - x(91) - x(97) - x(109) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp5 =E= vacios multiproposito propios 5

$$\text{vmp5.. } x(40) + x(43) + x(46) + x(49) - x(93) - x(99) - x(111) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vta1 =E= vacios tanque alquilados 1

$$\text{vta1.. } x(2) - x(62) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vta2 =E= vacios tanque alquilados 2

$$\text{vta2.. } x(5) - x(64) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vpa1 =E= vacios plataforma alquilados 1

$$\text{vpa1.. } x(29) + x(32) - x(84) - x(86) - x(88) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vpa2 =E= vacios plataforma alquilados 2

$$\text{vpa2.. } x(23) + x(26) - x(80) - x(82) - x(88) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva1 =E= vacios volco alquilados 1

$$\text{vva1.. } x(20) - x(72) - x(74) - x(76) - x(78) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva2 =E= vacios volco alquilados 2

$$\text{vva2.. } x(8) - x(66) - x(72) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva3 =E= vacios volco alquilados 3

$$\text{vva3.. } x(11) - x(68) - x(74) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva4 =E= vacios volco alquilados 4

$$\text{vva4.. } x(14) + x(17) - x(70) - x(76) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vma1 =E= vacios multiproposito alquilados 1

$$\text{vma1.. } x(56) + x(59) - x(104) - x(106) - x(108) - x(110) - x(112) =E= 0 ;$$

(LHS = 0)

---- vma2 =E= vacios multiproposito alquilerados 2

vma2.. x(53) - x(96) - x(98) - x(100) - x(102) + x(106) =E= 0 ; (LHS = 0)

---- vma3 =E= vacios multiproposito alquilerados 3

vma3.. x(35) - x(90) - x(96) - x(108) =E= 0 ; (LHS = 0)

---- vma4 =E= vacios multiproposito alquilerados 4

vma4.. x(38) - x(92) - x(98) - x(110) =E= 0 ; (LHS = 0)

---- vma5 =E= vacios multiproposito alquilerados 5

vma5.. x(41) + x(44) + x(47) + x(50) - x(94) - x(100) - x(112) =E= 0 ;

(LHS = 0)

---- x viajes

x(1)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, 100)  
305 ob  
32 d2  
32 o3  
7 dftp  
1 vtp1

x(2)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, 100)  
332 ob  
32 d2  
32 o3  
7 dfta  
1 vta1

x(3)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, 100)  
1093 ob  
32 d2  
32 o3

REMAINING 109 ENTRIES SKIPPED

---- f funcion objetivo

f  
          (.LO, .L, .UP = -INF, 0, +INF)  
-1      ob

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	54	SINGLE EQUATIONS	54
BLOCKS OF VARIABLES	2	SINGLE VARIABLES	113
NON ZERO ELEMENTS	439	DISCRETE VARIABLES	112

GENERATION TIME = 0.016 SECONDS 1.6 Mb WIN207-133

EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS 1.6 Mb WIN207-133

SOLVE SUMMARY

MODEL	ent1	OBJECTIVE	f
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	130

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 290008.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT	0.156	1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT	435	10000

GAMS/Cplex Jun 14, 2002 WIN.CP.CP 20.7 022.024.040.VIS For Cplex 7.5  
Cplex 7.5.0, GAMS Link 22  
Licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Proven optimal solution.

MIP Solution: 290008.000000 (435 iterations, 260 nodes)  
Final LP: 290008.000000 (0 iterations)

Best integer solution possible: 290008.000000  
Absolute gap: 0.000000  
Relative gap: 0.000000

MARGINAL	LOWER	LEVEL	UPPER	
---- EQU ob	.	.	.	-1.000
---- EQU d1	3584.000	3592.000	+INF	.
---- EQU d2	6528.000	6528.000	+INF	.
---- EQU d3	1280.000	1280.000	+INF	.
---- EQU d4	2048.000	2056.000	+INF	.
---- EQU d5	832.000	832.000	+INF	.
---- EQU d6	704.000	704.000	+INF	.
---- EQU d7	544.000	544.000	+INF	.
---- EQU d8	480.000	480.000	+INF	.
---- EQU o1	-INF	2414.000	4800.000	.
---- EQU o2	-INF	1178.000	1200.000	.
---- EQU o3	-INF	4992.000	4992.000	.
---- EQU o4	-INF	1536.000	1565.000	.
---- EQU o5	-INF	1280.000	1400.000	.
---- EQU o6	-INF	1800.000	1800.000	.
---- EQU o7	-INF	256.000	1800.000	.
---- EQU o8	-INF	832.000	1600.000	.
---- EQU o9	-INF	704.000	1300.000	.
---- EQU o10	-INF	544.000	1200.000	.
---- EQU o11	-INF	480.000	1000.000	.
---- EQU dftp	-INF	1104.000	1104.000	.
---- EQU dfvp	-INF	678.000	2208.000	.
---- EQU dfpp	-INF	460.000	1104.000	.
---- EQU dfmp	-INF	2680.000	2760.000	.
---- EQU dfta	-INF	552.000	552.000	.
---- EQU dfva	-INF	.	1104.000	.
---- EQU dfpa	-INF	.	1104.000	.
---- EQU dfma	-INF	.	1104.000	.
---- EQU vtp1	.	.	.	.
---- EQU vtp2	.	.	.	.
---- EQU vpp1	.	.	.	.
---- EQU vpp2	.	.	.	.
---- EQU vvp1	.	.	.	.
---- EQU vvp2	.	.	.	.
---- EQU vvp3	.	.	.	.
---- EQU vvp4	.	.	.	.
---- EQU vmp1	.	.	.	.
---- EQU vmp2	.	.	.	.
---- EQU vmp3	.	.	.	.
---- EQU vmp4	.	.	.	.
---- EQU vmp5	.	.	.	.
---- EQU vta1	.	.	.	.
---- EQU vta2	.	.	.	.
---- EQU vpa1	.	.	.	.

----	EQU vpa2	.	.	.	.
----	EQU vva1	.	.	.	.
----	EQU vva2	.	.	.	.
----	EQU vva3	.	.	.	.
----	EQU vva4	.	.	.	.
----	EQU vma1	.	.	.	.
----	EQU vma2	.	.	.	.
----	EQU vma3	.	.	.	.
----	EQU vma4	.	.	.	.
----	EQU vma5	.	.	.	.

ob funcion objetivo  
d1 demanda pt1 cedi bogota  
d2 demanda pt2 cedi bogota  
d3 demanda pi planta2  
d4 demanda mp1 granel planta1  
d5 demanda mp2 granel planta1  
d6 demanda mp3 granel planta1  
d7 demanda mp2 bigbags planta 1  
d8 demanda mp3 bigbags planta 1  
o1 oferta pt1 planta1  
o2 oferta pt1 planta2  
o3 oferta pt2 planta1  
o4 oferta pt2 planta2  
o5 oferta pi planta1  
o6 oferta mp1 granel proveedor a  
o7 oferta mp1 granel proveedor b  
o8 oferta mp2 granel proveedor c  
o9 oferta mp3 granel proveedor c  
o10 oferta mp2 bigbags proveedor c  
o11 oferta mp3 bigbags proveedor c  
dftp disponibilidad tanques propios  
dfvp disponibilidad volcos propios  
dfpp disponibilidad plataformas propias  
dfmp disponibilidad multipropósitos propios  
dfta disponibilidad tanques alquilados  
dfva disponibilidad volcos alquilados  
dfpa disponibilidad plataformas alquiladas  
dfma disponibilidad multipropósitos alquilados  
vtp1 vacios tanque propios 1  
vtp2 vacios tanque propios 2  
vpp1 vacios plataforma propios 1  
vpp2 vacios plataforma propios 2  
vvp1 vacios volco propios 1  
vvp2 vacios volco propios 2  
vvp3 vacios volco propios 3  
vvp4 vacios volco propios 4  
vmp1 vacios multipropósito propios 1

vmp2 vacios multiproposito propios 2  
 vmp3 vacios multiproposito propios 3  
 vmp4 vacios multiproposito propios 4  
 vmp5 vacios multiproposito propios 5  
 vta1 vacios tanque alquilados 1  
 vta2 vacios tanque alquilados 2  
 vpa1 vacios plataforma alquilados 1  
 vpa2 vacios plataforma alquilados 2  
 vva1 vacios volco alquilados 1  
 vva2 vacios volco alquilados 2  
 vva3 vacios volco alquilados 3  
 vva4 vacios volco alquilados 4  
 vma1 vacios multiproposito alquilados 1  
 vma2 vacios multiproposito alquilados 2  
 vma3 vacios multiproposito alquilados 3  
 vma4 vacios multiproposito alquilados 4  
 vma5 vacios multiproposito alquilados 5

---- VAR x viajes

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	92.000	100.000	305.000
2	.	46.000	100.000	332.000
3	.	18.000	100.000	1093.000
4	.	.	100.000	100.000
5	.	.	100.000	125.000
6	.	48.000	100.000	416.000
7	.	1.000	100.000	890.000
8	.	.	100.000	945.000
9	.	.	100.000	1553.000
10	.	8.000	100.000	926.000
11	.	.	100.000	970.000
12	.	.	100.000	1553.000
13	.	9.000	100.000	963.000
14	.	.	100.000	1011.000
15	.	.	100.000	1553.000
16	.	5.000	100.000	963.000
17	.	.	100.000	1011.000
18	.	.	100.000	1553.000
19	.	23.000	100.000	399.000
20	.	.	100.000	414.000
21	.	.	100.000	1093.000
22	.	.	100.000	972.000
23	.	.	100.000	1020.000
24	.	.	100.000	1553.000
25	.	15.000	100.000	972.000
26	.	.	100.000	1020.000

27	.	.	100.000	1553.000
28	.	.	100.000	325.000
29	.	.	100.000	352.000
30	.	.	100.000	1093.000
31	.	23.000	100.000	100.000
32	.	.	100.000	125.000
33	.	.	100.000	416.000
34	.	52.000	100.000	946.000
35	.	.	100.000	1004.000
36	.	.	100.000	1651.000
37	.	.	100.000	984.000
38	.	.	100.000	1031.000
39	.	.	100.000	1651.000
40	.	16.000	100.000	1023.000
41	.	.	100.000	1074.000
42	.	.	100.000	1651.000
43	.	16.000	100.000	1023.000
44	.	.	100.000	1074.000
45	.	.	100.000	1651.000
46	.	16.000	100.000	1032.000
47	.	.	100.000	1083.000
48	.	.	100.000	1651.000
49	.	.	100.000	1032.000
50	.	.	100.000	1083.000
51	.	.	100.000	1651.000
52	.	16.000	100.000	423.000
53	.	.	100.000	440.000
54	.	.	100.000	1093.000
55	.	71.000	100.000	324.000
56	.	.	100.000	353.000
57	.	.	100.000	1093.000
58	.	13.000	100.000	100.000
59	.	.	100.000	125.000
60	.	.	100.000	416.000
61	.	92.000	100.000	100.000
62	.	46.000	100.000	125.000
63	.	.	100.000	50.000
64	.	.	100.000	70.000
65	.	.	100.000	198.000
66	.	.	100.000	229.000
67	.	.	100.000	224.000
68	.	.	100.000	262.000
69	.	.	100.000	270.000
70	.	.	100.000	315.000
71	.	1.000	100.000	76.000
72	.	.	100.000	91.000
73	.	8.000	100.000	81.000
74	.	.	100.000	99.000
75	.	14.000	100.000	98.000

76	.	.	100.000	121.000
77	.	.	100.000	138.000
78	.	.	100.000	159.000
79	.	.	100.000	270.000
80	.	.	100.000	315.000
81	.	.	100.000	98.000
82	.	.	100.000	121.000
83	.	.	100.000	100.000
84	.	.	100.000	125.000
85	.	8.000	100.000	50.000
86	.	.	100.000	70.000
87	.	15.000	100.000	133.000
88	.	.	100.000	155.000
89	.	.	100.000	198.000
90	.	.	100.000	229.000
91	.	.	100.000	224.000
92	.	.	100.000	262.000
93	.	.	100.000	270.000
94	.	.	100.000	315.000
95	.	.	100.000	76.000
96	.	.	100.000	91.000
97	.	.	100.000	81.000
98	.	.	100.000	99.000
99	.	16.000	100.000	98.000
100	.	.	100.000	121.000
101	.	.	100.000	138.000
102	.	.	100.000	159.000
103	.	.	100.000	100.000
104	.	.	100.000	125.000
105	.	.	100.000	50.000
106	.	.	100.000	70.000
107	.	52.000	100.000	85.000
108	.	.	100.000	106.000
109	.	.	100.000	111.000
110	.	.	100.000	139.000
111	.	32.000	100.000	133.000
112	.	.	100.000	155.000

LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
-------	-------	-------	----------

---- VAR f      -INF 2.9001E+5    +INF    .

f funcion objetivo

\*\*\*\* REPORT SUMMARY :    0    NONOPT  
                          0 INFEASIBLE  
                          0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS 0.8 Mb WIN207-133

USER: Danilo Abril Hernandez G021129:1442AB-WIN  
Universidad Industrial de Santander, Escuela de Estudios InDC4015

\*\*\*\* FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\GAMSDIR\GAMSEDUARDO\CEDI GENERAL1.GMS  
OUTPUT C:\WINDOWS\GAMSDIR\CEDI GENERAL1.LST

## Resultados del modelo 2

GAMS Rev 133 Windows NT/95/98  
General Algebraic Modeling System  
Compilation

05/16/05 09:01:25 Page 1

```
1 * centro de acopio
2
3 sets
4
5 i codigo de viajes /1*230/;
6
7 options optcr=0.00000000001;
8 variables
9
10 x(i) viajes
11 f funcion objetivo ;
12
13 integer variables x ;
14
15 equations
16
17 ob funcion objetivo
18 d1 demanda mp1 granel planta1
19 d2 demanda mp2 granel planta1
20 d3 demanda mp3 granel planta1
21 d4 demanda mp2 bigbags planta1
22 d5 demanda mp3 bigbags planta1
23 d6 demanda pi planta2
24 d7 demanda pt1 bogota
```

25 d8 demanda pt1 ca  
26 d9 demanda pt2 bogota  
27 o1 oferta mp1 granel proveedor a  
28 o2 oferta mp1 granel proveedor b  
29 o3 oferta mp2 granel proveedor c  
30 o4 oferta mp3 granel proveedor c  
31 o5 oferta mp2 bigbags proveedor c  
32 o6 oferta mp3 bigbags proveedor c  
33 o7 oferta pi planta1  
34 o8 oferta pt1 planta1  
35 o9 oferta pt1 planta2  
36 o10 oferta pt2 planta1  
37 o11 oferta pt2 planta2  
38 dftp disponibilidad tanques propios  
39 dfvp disponibilidad volcos propios  
40 dfpp disponibilidad plataformas propias  
41 dfmp disponibilidad multipropósitos propios  
42 dfta disponibilidad tanques alquilados  
43 dfva disponibilidad volcos alquilados  
44 dfpa disponibilidad plataformas alquiladas  
45 dfma disponibilidad multipropósitos alquilados  
46 vtp1 vacios tanque propios 1  
47 vtp2 vacios tanque propios 1  
48 vvp1 vacios volco propios 1  
49 vvp2 vacios volco propios 2  
50 vvp3 vacios volco propios 3  
51 vvp4 vacios volco propios 4  
52 vvp5 vacios volco propios 5  
53 vpp1 vacios plataforma propios 1  
54 vpp2 vacios plataforma propios 2  
55 vpp3 vacios plataforma propios 3  
56 vmp1 vacios multipropósito propios 1  
57 vmp2 vacios multipropósito propios 2  
58 vmp3 vacios multipropósito propios 3  
59 vmp4 vacios multipropósito propios 4  
60 vmp5 vacios multipropósito propios 5  
61 vmp6 vacios multipropósito propios 6  
62 vta1 vacios tanque alquilados 1  
63 vta2 vacios tanque alquilados 1  
64 vva1 vacios volco alquilados 1  
65 vva2 vacios volco alquilados 2  
66 vva3 vacios volco alquilados 3  
67 vva4 vacios volco alquilados 4  
68 vva5 vacios volco alquilados 5  
69 vpa1 vacios plataforma alquilados 1  
70 vpa2 vacios plataforma alquilados 2  
71 vpa3 vacios plataforma alquilados 3  
72 vma1 vacios multipropósito alquilados 1  
73 vma2 vacios multipropósito alquilados 2

74 vma3 vacios multiproposito alquilados 3  
 75 vma4 vacios multiproposito alquilados 4  
 76 vma5 vacios multiproposito alquilados 5  
 77 vma6 vacios multiproposito alquilados 6  
 78 a1 almacenamiento mp1 granel 1  
 79 a2 almacenamiento mp1 granel 2  
 80 a3 almacenamiento mp2 granel 1  
 81 a4 almacenamiento mp2 granel 1  
 82 a5 almacenamiento mp3 granel 1  
 83 a6 almacenamiento mp3 granel 2  
 84 a7 almacenamiento mp2 bigbags 1  
 85 a8 almacenamiento mp2 bigbags 2  
 86 a9 almacenamiento mp3 bigbags 1  
 87 a10 almacenamiento mp3 bigbags 2  
 88 a11 almacenamiento pi 1  
 89 a12 almacenamiento pi 2  
 90  
 91  
 92 ob,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,d8,d9,o1,o2,o3,o4,o5,o6,o7,o8,o9,o10,o11,dftp,dfvp  
 ,dfpp,dfmp,dfta,dfva,dfpa,dfma,vtp1,vtp2,vpp1,vpp2,vpp3,vvp1,vvp2,vvp3,vvp  
 4,vvp5,vmp1,vmp2,vmp3,vmp4,vmp5,vmp6,vta1,vta2,vpa1,vpa2,vpa3,vva1,vva2,vv  
 a3,vva4,vva5,vma1,vma2,vma3,vma4,vma5,vma6,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8,a9,a10,  
 a11,a12;

93

94 ob..  $305*x('1')+332*x('2')+1093*x('3')+100*x('4')+125*x('5')+416*x('6')$   
 $+890*x('7')+945*x('8')+1553*x('9')+926*x('10')+970*x('11')+1553*x('12')+9$   
 $63*x('13')+1011*x('14')+1553*x('15')+963*x('16')+1011*x('17')+1553*x('18')$   
 $+412*x('19')+449*x('20')+950*x('21')+428*x('22')+466*x('23')+950*x('24')+3$   
 $69*x('25')+395*x('26')+950*x('27')+369*x('28')+395*x('29')+950*x('30')+80*$   
 $x('31')+100*x('32')+1093*x('33')+80*x('34')+100*x('35')+1093*x('36')+80*x('$   
 $'37')+100*x('38')+1093*x('39')+250*x('40')+275*x('41')+1093*x('42')+399*x('$   
 $'43')+414*x('44')+1093*x('45')+115*x('46')+136*x('47')+416*x('48')+972*x('$   
 $'49')+1020*x('50')+1553*x('51')+972*x('52')+1020*x('53')+1553*x('54')+378*x$   
 $('55')+404*x('56')+950*x('57')+378*x('58')+404*x('59')+950*x('60')+98*x('6$   
 $'1')+118*x('62')+1093*x('63')+98*x('64')+118*x('65')+1093*x('66')+325*x('67$   
 $'')+352*x('68')+1093*x('69')+250*x('70')+275*x('71')+1093*x('72')+100*x('73$   
 $'')+125*x('74')+416*x('75')+155*x('76')+180*x('77')+416*x('78')+946*x('79')$   
 $+1004*x('80')+1651*x('81')+984*x('82')+1031*x('83')+1651*x('84')+1023*x('8$   
 $'5')+1074*x('86')+1651*x('87')+1023*x('88')+1074*x('89')+1651*x('90')+1032*$   
 $x('91')+1083*x('92')+1651*x('93')+1032*x('94')+1083*x('95')+1651*x('96')+4$   
 $38*x('97')+477*x('98')+1010*x('99')+455*x('100')+495*x('101')+1010*x('102'$   
 $)$   
 $+392*x('103')+420*x('104')+1010*x('105')+392*x('106')+420*x('107')+1010*x$   
 $('108')+401*x('109')+428*x('110')+1010*x('111')+401*x('112')+428*x('113')+$   
 $1010*x('114')+85*x('115')+106*x('116')+1161*x('117')+85*x('118')+106*x('11$   
 $'9')+1161*x('120')+85*x('121')+106*x('122')+1161*x('123')+94*x('124')+115*x$   
 $('125')+1161*x('126')+94*x('127')+115*x('128')+1161*x('129')+266*x('130')+$   
 $292*x('131')+1161*x('132')+423*x('133')+440*x('134')+1161*x('135')+122*x('$   
 $'136')+145*x('137')+442*x('138')+324*x('139')+353*x('140')+1161*x('141')+26$   
 $6*x('142')+292*x('143')+1161*x('144')+101*x('145')+126*x('146')+442*x('147$

)+165\*x('148')+191\*x('149')+442\*x('150')+100\*x('151')+125\*x('152')+50\*x('153')+70\*x('154')+60\*x('155')+81\*x('156')+110\*x('157')+132\*x('158')+129\*x('159')+155\*x('160')+157\*x('161')+189\*x('162')+198\*x('163')+229\*x('164')+224\*x('165')+262\*x('166')+270\*x('167')+315\*x('168')+76\*x('169')+91\*x('170')+81\*x('171')+99\*x('172')+98\*x('173')+121\*x('174')+138\*x('175')+159\*x('176')+157\*x('177')+189\*x('178')+30\*x('179')+50\*x('180')+100\*x('181')+125\*x('182')+50\*x('183')+70\*x('184')+148\*x('185')+178\*x('186')+270\*x('187')+315\*x('188')+98\*x('189')+121\*x('190')+60\*x('191')+81\*x('192')+110\*x('193')+132\*x('194')+129\*x('195')+155\*x('196')+157\*x('197')+189\*x('198')+30\*x('199')+50\*x('200')+100\*x('201')+125\*x('202')+50\*x('203')+70\*x('204')+85\*x('205')+106\*x('206')+111\*x('207')+139\*x('208')+148\*x('209')+178\*x('210')+198\*x('211')+229\*x('212')+224\*x('213')+262\*x('214')+270\*x('215')+315\*x('216')+76\*x('217')+91\*x('218')+81\*x('219')+99\*x('220')+98\*x('221')+121\*x('222')+138\*x('223')+159\*x('224')+1\*x('225')+1\*x('226')+1\*x('227')+1\*x('228')+1\*x('229')+1\*x('230')=e=f;

- 95 d1.. 32\*x('7')+32\*x('8')+32\*x('9')+32\*x('10')+32\*x('11')+32\*x('12')+32\*x('31')+32\*x('32')+32\*x('33')+34\*x('79')+34\*x('80')+34\*x('81')+34\*x('82')+34\*x('83')+34\*x('84')+34\*x('115')+34\*x('116')+34\*x('117')=g=2048;
- 96 d2.. 32\*x('13')+32\*x('14')+32\*x('15')+32\*x('34')+32\*x('35')+32\*x('36')+34\*x('85')+34\*x('86')+34\*x('87')+34\*x('118')+34\*x('119')+34\*x('120')=g=832;
- 97 d3.. 32\*x('16')+32\*x('17')+32\*x('18')+32\*x('37')+32\*x('38')+32\*x('39')+34\*x('88')+34\*x('89')+34\*x('90')+34\*x('121')+34\*x('122')+34\*x('123')=g=704;
- 98 d4.. 32\*x('49')+32\*x('50')+32\*x('51')+32\*x('61')+32\*x('62')+32\*x('63')+34\*x('91')+34\*x('92')+34\*x('93')+34\*x('124')+34\*x('125')+34\*x('126')=g=544;
- 99 d5.. 32\*x('52')+32\*x('53')+32\*x('54')+32\*x('64')+32\*x('65')+32\*x('66')+34\*x('94')+34\*x('95')+34\*x('96')+34\*x('127')+34\*x('128')+34\*x('129')=g=480;
- 100 d6.. 32\*x('43')+32\*x('44')+32\*x('45')+32\*x('46')+32\*x('47')+32\*x('48')+34\*x('133')+34\*x('134')+34\*x('135')+34\*x('136')+34\*x('137')+34\*x('138')=g=1280;
- 101 d7.. 32\*x('67')+32\*x('68')+32\*x('69')+32\*x('73')+32\*x('74')+32\*x('75')+34\*x('139')+34\*x('140')+34\*x('141')+34\*x('145')+34\*x('146')+34\*x('147')=g=992;
- 102 d8.. 32\*x('70')+32\*x('71')+32\*x('72')+32\*x('76')+32\*x('77')+32\*x('78')+34\*x('142')+34\*x('143')+34\*x('144')+34\*x('148')+34\*x('149')+34\*x('150')=g=2304;
- 103 d9.. 32\*x('1')+32\*x('2')+32\*x('3')+32\*x('4')+32\*x('5')+32\*x('6')=g=6528;
- 104 o1.. 32\*x('7')+32\*x('8')+32\*x('9')+32\*x('19')+32\*x('20')+32\*x('21')+34\*x('79')+34\*x('80')+34\*x('81')+34\*x('97')+34\*x('98')+34\*x('99')=l=1696;
- 105 o2.. 32\*x('10')+32\*x('11')+32\*x('12')+32\*x('22')+32\*x('23')+32\*x('24')+34\*x('82')+34\*x('83')+34\*x('84')+34\*x('100')+34\*x('101')+34\*x('102')=l=1696;
- 106 o3.. 32\*x('13')+32\*x('14')+32\*x('15')+32\*x('25')+32\*x('26')+32\*x('27')+34\*x('85')+34\*x('86')+34\*x('87')+34\*x('103')+34\*x('104')+34\*x('105')=l=13

76;

107 o4..  $32*x('16')+32*x('17')+32*x('18')+32*x('28')+32*x('29')+32*x('30') +34*x('88')+34*x('89')+34*x('90')+34*x('106')+34*x('107')+34*x('108')=|1152;$

108 o5..  $32*x('49')+32*x('50')+32*x('51')+32*x('55')+32*x('56')+32*x('57') +34*x('91')+34*x('92')+34*x('93')+34*x('109')+34*x('110')+34*x('111')=|928;$

109 o6..  $32*x('52')+32*x('53')+32*x('54')+32*x('58')+32*x('59')+32*x('60') +34*x('94')+34*x('95')+34*x('96')+34*x('112')+34*x('113')+34*x('114')=|768;$

110 o7..  $32*x('40')+32*x('41')+32*x('42')+32*x('43')+32*x('44')+32*x('45') +34*x('130')+34*x('131')+34*x('132')+34*x('133')+34*x('134')+34*x('135')=|1280;$

111 o8..  $32*x('67')+32*x('68')+32*x('69')+32*x('70')+32*x('71')+32*x('72') +34*x('139')+34*x('140')+34*x('141')+34*x('142')+34*x('143')+34*x('144')=|4064;$

112 o9..  $32*x('73')+32*x('74')+32*x('75')+32*x('76')+32*x('77')+32*x('78') +34*x('145')+34*x('146')+34*x('147')+34*x('148')+34*x('149')+34*x('150')=|864;$

113 o10..  $32*x('1')+32*x('2')+32*x('3')=|4992;$

114 o11..  $32*x('4')+32*x('5')+32*x('6')=|1565;$

115 dftp..  $7*x('1')+3*x('4')+5*x('151')+2*x('153')=|1104;$

116 dfvp..  $10*x('7')+12*x('10')+15*x('13')+15*x('16')+6*x('19')+7*x('22')+10*x('25')+10*x('28')+4*x('31')+4*x('34')+4*x('37')+4*x('40')+8*x('43')+6*x('46')+4*x('155')+5*x('157')+5*x('159')+8*x('161')+7*x('163')+9*x('165')+11*x('167')+4*x('169')+6*x('171')+7*x('173')+5*x('175')=|2208;$

117 dfpp..  $15*x('49')+15*x('52')+10*x('55')+10*x('58')+4*x('61')+4*x('64')+7*x('67')+4*x('70')+3*x('73')+6*x('76')+8*x('177')+2*x('179')+5*x('181')+2*x('183')+10*x('185')+5*x('187')=|1104;$

118 dfmp..  $10*x('79')+12*x('82')+15*x('85')+15*x('88')+15*x('91')+15*x('94')+6*x('97')+7*x('100')+10*x('103')+10*x('106')+10*x('109')+10*x('112')+4*x('115')+4*x('118')+4*x('121')+4*x('124')+4*x('127')+4*x('130')+8*x('133')+6*x('136')+4*x('191')+5*x('193')+6*x('195')+8*x('197')+2*x('199')+5*x('201')+2*x('203')+6*x('205')+8*x('207')+10*x('209')+7*x('211')+9*x('213')+11*x('215')+4*x('217')+6*x('219')+7*x('221')+5*x('223')=|2760;$

119 dfra..  $7*x('2')+3*x('5')+5*x('152')+2*x('154')=|552;$

120 dfva..  $10*x('8')+12*x('11')+15*x('14')+15*x('17')+6*x('20')+7*x('23')+10*x('26')+10*x('29')+4*x('32')+4*x('35')+4*x('38')+4*x('41')+8*x('44')+6*x('47')+4*x('156')+5*x('158')+5*x('160')+8*x('162')+7*x('164')+9*x('166')+11*x('168')+4*x('170')+6*x('172')+7*x('174')+5*x('176')=|1104;$

121 dfpa..  $15*x('50')+15*x('53')+10*x('56')+10*x('59')+4*x('62')+4*x('65')+7*x('68')+4*x('71')+3*x('74')+6*x('77')+8*x('178')+2*x('180')+5*x('182')+2*x('184')+10*x('186')+5*x('188')=|1104;$

122 dfma..  $10*x('80')+12*x('83')+15*x('86')+15*x('89')+15*x('92')+15*x('95')+6*x('98')+7*x('101')+10*x('104')+10*x('107')+10*x('110')+10*x('113')+4*x('116')+4*x('119')+4*x('122')+4*x('125')+4*x('128')+4*x('131')+8*x('134')+6*x('137')+4*x('192')+5*x('194')+6*x('196')+8*x('198')+2*x('200')+5*x('202')+2*x('204')+6*x('206')+8*x('208')+10*x('210')+7*x('212')+9*x('214')+11*x('216')+4*x('218')+6*x('220')+7*x('222')+5*x('224')=|1104;$

123 vtp1..  $x('1')=e=x('151');$   
124 vtp2..  $x('4')=e=x('153');$   
125 vvp1..  $x('40')+x('155')=e=x('31')+x('34')+x('37')+x('46')+x('157')+x('159')+x('161');$   
126 vvp2..  $x('43')+x('46')=e=x('155')+x('169')+x('171')+x('173')+x('175');$   
127 vvp3..  $x('7')+x('19')=e=x('157')+x('163')+x('169');$   
128 vvp4..  $x('10')+x('22')=e=x('159')+x('165')+x('171');$   
129 vvp5..  $x('13')+x('16')+x('25')+x('28')=e=x('161')+x('167')+x('173');$   
130 vpp1..  $x('70')+x('76')+x('179')=e=x('61')+x('64')+x('177');$   
131 vpp2..  $x('67')+x('73')=e=x('179')+x('181')+x('183')+x('185');$   
132 vpp3..  $x('49')+x('52')+x('55')+x('58')=e=x('177')+x('185')+x('187')+x('189');$   
133 vmp1..  $x('130')+x('142')+x('148')+x('199')=e=x('115')+x('118')+x('121')+x('124')+x('127')+x('136')+x('195')+x('197');$   
134 vmp2..  $x('139')+x('145')=e=x('199')+x('201')+x('203')+x('205')+x('207')+x('209');$   
135 vmp3..  $x('133')+x('136')=e=x('217')+x('219')+x('221')+x('223');$   
136 vmp4..  $x('79')+x('97')=e=x('193')+x('205')+x('211')+x('217');$   
137 vmp5..  $x('82')+x('100')=e=x('195')+x('207')+x('213')+x('219');$   
138 vmp6..  $x('85')+x('88')+x('91')+x('94')+x('103')+x('106')+x('109')+x('112')=e=x('197')+x('209')+x('215')+x('221');$   
139 vta1..  $x('2')=e=x('152');$   
140 vta2..  $x('5')=e=x('154');$   
141 vva1..  $x('41')+x('156')=e=x('32')+x('35')+x('38')+x('47')+x('158')+x('160')+x('162');$   
142 vva2..  $x('44')+x('47')=e=x('156')+x('170')+x('172')+x('174')+x('176');$   
143 vva3..  $x('8')+x('20')=e=x('158')+x('164')+x('170');$   
144 vva4..  $x('11')+x('23')=e=x('160')+x('166')+x('172');$   
145 vva5..  $x('14')+x('17')+x('26')+x('29')=e=x('162')+x('168')+x('174');$   
146 vpa1..  $x('71')+x('77')+x('180')=e=x('62')+x('65')+x('178');$   
147 vpa2..  $x('68')+x('74')=e=x('180')+x('182')+x('184')+x('186');$   
148 vpa3..  $x('50')+x('53')+x('56')+x('59')=e=x('178')+x('186')+x('188')+x('190');$   
149 vma1..  $x('131')+x('143')+x('149')+x('200')=e=x('116')+x('119')+x('122')+x('125')+x('128')+x('137')+x('196')+x('198');$   
150 vma2..  $x('140')+x('146')=e=x('200')+x('202')+x('204')+x('206')+x('208')+x('210');$   
151 vma3..  $x('134')+x('137')=e=x('218')+x('220')+x('222')+x('224');$   
152 vma4..  $x('80')+x('98')=e=x('194')+x('206')+x('212')+x('218');$   
153 vma5..  $x('83')+x('101')=e=x('196')+x('208')+x('214')+x('220');$   
154 vma6..  $x('86')+x('89')+x('92')+x('95')+x('104')+x('107')+x('110')+x('113')=e=x('198')+x('210')+x('216')+x('222');$   
155 a1..  $(32*x('31')+32*x('32')+32*x('33')+34*x('115')+34*x('116')+34*x('117'))=I=(32*x('19')+32*x('20')+32*x('21')+32*x('22')+32*x('23')+32*x('24')+34*x('97')+34*x('98')+34*x('99')+34*x('100')+34*x('101')+34*x('102'));$   
156 a2..  $x('225')=e=(32*x('19')+32*x('20')+32*x('21')+32*x('22')+32*x('23')+32*x('24')+34*x('97')+34*x('98')+34*x('99')+34*x('100')+34*x('101')+34*x('102'))-(32*x('31')+32*x('32')+32*x('33')+34*x('115')+34*x('116')+34*x('117));$

```

157 a3.. (32*x('34')+32*x('35')+32*x('36')+34*x('118')+34*x('119')+34*x('1
20'))=I=(32*x('25')+32*x('26')+32*x('27')+34*x('103')+34*x('104')+34*x('10
5'));
158 a4.. x('226')=e=(32*x('25')+32*x('26')+32*x('27')+34*x('103')+34*x('10
4')+34*x('105'))-(32*x('34')+32*x('35')+32*x('36')+34*x('118')+34*x('119')
+34*x('120'));
159 a5..
(32*x('37')+32*x('38')+32*x('39')+34*x('121')+34*x('122')+34*x('123'))=I=(32*x('28')+32*x('2
9')+32*x('30')+34*x('106')+34*x('107')+34*x('108'));
160 a6.. x('227')=e=(32*x('28')+32*x('29')+32*x('30')+34*x('106')+34*x('10
7')+34*x('108'))-(32*x('37')+32*x('38')+32*x('39')+34*x('121')+34*x('122')
+34*x('123'));
161 a7.. (32*x('61')+32*x('62')+32*x('63')+34*x('124')+34*x('125')+34*x('1
26'))=I=(32*x('55')+32*x('56')+32*x('57')+34*x('109')+34*x('110')+34*x('11
1'));
162 a8.. x('228')=e=(32*x('55')+32*x('56')+32*x('57')+34*x('109')+34*x('11
0')+34*x('111'))-(32*x('61')+32*x('62')+32*x('63')+34*x('124')+34*x('125')
+34*x('126'));
163 a9.. (32*x('64')+32*x('65')+32*x('66')+34*x('127')+34*x('128')+34*x('1
29'))=I=(32*x('58')+32*x('59')+32*x('60')+34*x('112')+34*x('113')+34*x('11
4'));
164 a10.. x('229')=e=(32*x('58')+32*x('59')+32*x('60')+34*x('112')+34*x('11
3')+34*x('114'))-(32*x('64')+32*x('65')+32*x('66')+34*x('127')+34*x('128')
+34*x('129'));
165 a11.. (32*x('46')+32*x('47')+32*x('48')+34*x('136')+34*x('137')+34*x('1
38'))=I=(32*x('40')+32*x('41')+32*x('42')+34*x('130')+34*x('131')+34*x('13
2'));
166 a12.. x('230')=e=(32*x('40')+32*x('41')+32*x('42')+34*x('130')+34*x('13
1')+34*x('132'))-(32*x('46')+32*x('47')+32*x('48')+34*x('136')+34*x('137')
+34*x('138'));
167
168
169 model ent1 /all/;
170
171 solve ent1 using mip minimizing f;

```

COMPILATION TIME = 0.015 SECONDS 0.8 Mb WIN207-133

---- ob =E= funcion objetivo

```

ob.. 305*x(1) + 332*x(2) + 1093*x(3) + 100*x(4) + 125*x(5) + 416*x(6)
+ 890*x(7) + 945*x(8) + 1553*x(9) + 926*x(10) + 970*x(11) + 1553*x(12)
+ 963*x(13) + 1011*x(14) + 1553*x(15) + 963*x(16) + 1011*x(17)
+ 1553*x(18) + 412*x(19) + 449*x(20) + 950*x(21) + 428*x(22) + 466*x(23)
+ 950*x(24) + 369*x(25) + 395*x(26) + 950*x(27) + 369*x(28) + 395*x(29)

```

+ 950\*x(30) + 80\*x(31) + 100\*x(32) + 1093\*x(33) + 80\*x(34) + 100\*x(35)  
 + 1093\*x(36) + 80\*x(37) + 100\*x(38) + 1093\*x(39) + 250\*x(40) + 275\*x(41)  
 + 1093\*x(42) + 399\*x(43) + 414\*x(44) + 1093\*x(45) + 115\*x(46) + 136\*x(47)  
 + 416\*x(48) + 972\*x(49) + 1020\*x(50) + 1553\*x(51) + 972\*x(52) + 1020\*x(53)  
 + 1553\*x(54) + 378\*x(55) + 404\*x(56) + 950\*x(57) + 378\*x(58) + 404\*x(59)  
 + 950\*x(60) + 98\*x(61) + 118\*x(62) + 1093\*x(63) + 98\*x(64) + 118\*x(65)  
 + 1093\*x(66) + 325\*x(67) + 352\*x(68) + 1093\*x(69) + 250\*x(70) + 275\*x(71)  
 + 1093\*x(72) + 100\*x(73) + 125\*x(74) + 416\*x(75) + 155\*x(76) + 180\*x(77)  
 + 416\*x(78) + 946\*x(79) + 1004\*x(80) + 1651\*x(81) + 984\*x(82) + 1031\*x(83)  
 + 1651\*x(84) + 1023\*x(85) + 1074\*x(86) + 1651\*x(87) + 1023\*x(88)  
 + 1074\*x(89) + 1651\*x(90) + 1032\*x(91) + 1083\*x(92) + 1651\*x(93)  
 + 1032\*x(94) + 1083\*x(95) + 1651\*x(96) + 438\*x(97) + 477\*x(98)  
 + 1010\*x(99) + 455\*x(100) + 495\*x(101) + 1010\*x(102) + 392\*x(103)  
 + 420\*x(104) + 1010\*x(105) + 392\*x(106) + 420\*x(107) + 1010\*x(108)  
 + 401\*x(109) + 428\*x(110) + 1010\*x(111) + 401\*x(112) + 428\*x(113)  
 + 1010\*x(114) + 85\*x(115) + 106\*x(116) + 1161\*x(117) + 85\*x(118)  
 + 106\*x(119) + 1161\*x(120) + 85\*x(121) + 106\*x(122) + 1161\*x(123)  
 + 94\*x(124) + 115\*x(125) + 1161\*x(126) + 94\*x(127) + 115\*x(128)  
 + 1161\*x(129) + 266\*x(130) + 292\*x(131) + 1161\*x(132) + 423\*x(133)  
 + 440\*x(134) + 1161\*x(135) + 122\*x(136) + 145\*x(137) + 442\*x(138)  
 + 324\*x(139) + 353\*x(140) + 1161\*x(141) + 266\*x(142) + 292\*x(143)  
 + 1161\*x(144) + 101\*x(145) + 126\*x(146) + 442\*x(147) + 165\*x(148)  
 + 191\*x(149) + 442\*x(150) + 100\*x(151) + 125\*x(152) + 50\*x(153)  
 + 70\*x(154) + 60\*x(155) + 81\*x(156) + 110\*x(157) + 132\*x(158) + 129\*x(159)

$$\begin{aligned}
& + 155*x(160) + 157*x(161) + 189*x(162) + 198*x(163) + 229*x(164) \\
& + 224*x(165) + 262*x(166) + 270*x(167) + 315*x(168) + 76*x(169) \\
& + 91*x(170) + 81*x(171) + 99*x(172) + 98*x(173) + 121*x(174) + 138*x(175) \\
& + 159*x(176) + 157*x(177) + 189*x(178) + 30*x(179) + 50*x(180) \\
& + 100*x(181) + 125*x(182) + 50*x(183) + 70*x(184) + 148*x(185) \\
& + 178*x(186) + 270*x(187) + 315*x(188) + 98*x(189) + 121*x(190) \\
& + 60*x(191) + 81*x(192) + 110*x(193) + 132*x(194) + 129*x(195) \\
& + 155*x(196) + 157*x(197) + 189*x(198) + 30*x(199) + 50*x(200) \\
& + 100*x(201) + 125*x(202) + 50*x(203) + 70*x(204) + 85*x(205) + 106*x(206) \\
& + 111*x(207) + 139*x(208) + 148*x(209) + 178*x(210) + 198*x(211) \\
& + 229*x(212) + 224*x(213) + 262*x(214) + 270*x(215) + 315*x(216) \\
& + 76*x(217) + 91*x(218) + 81*x(219) + 99*x(220) + 98*x(221) + 121*x(222) \\
& + 138*x(223) + 159*x(224) + x(225) + x(226) + x(227) + x(228) + x(229) \\
& + x(230) - f = E = 0 ; (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- d1 =G= demanda mp1 granel planta1

$$\begin{aligned}
d1.. & 32*x(7) + 32*x(8) + 32*x(9) + 32*x(10) + 32*x(11) + 32*x(12) + 32*x(31) \\
& + 32*x(32) + 32*x(33) + 34*x(79) + 34*x(80) + 34*x(81) + 34*x(82) \\
& + 34*x(83) + 34*x(84) + 34*x(115) + 34*x(116) + 34*x(117) =G= 2048 ; \\
& (LHS = 0, INFES = 2048 ***)
\end{aligned}$$

---- d2 =G= demanda mp2 granel planta1

$$\begin{aligned}
d2.. & 32*x(13) + 32*x(14) + 32*x(15) + 32*x(34) + 32*x(35) + 32*x(36) + 34*x(85) \\
& + 34*x(86) + 34*x(87) + 34*x(118) + 34*x(119) + 34*x(120) =G= 832 ; \\
& (LHS = 0, INFES = 832 ***)
\end{aligned}$$

---- d3 =G= demanda mp3 granel planta1

$$\begin{aligned}
 \text{d3.. } & 32*x(16) + 32*x(17) + 32*x(18) + 32*x(37) + 32*x(38) + 32*x(39) + 34*x(88) \\
 & + 34*x(89) + 34*x(90) + 34*x(121) + 34*x(122) + 34*x(123) =G= 704 ; \\
 & (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 704 \text{ ***})
 \end{aligned}$$

---- d4 =G= demanda mp2 bigbags planta1

$$\begin{aligned}
 \text{d4.. } & 32*x(49) + 32*x(50) + 32*x(51) + 32*x(61) + 32*x(62) + 32*x(63) + 34*x(91) \\
 & + 34*x(92) + 34*x(93) + 34*x(124) + 34*x(125) + 34*x(126) =G= 544 ; \\
 & (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 544 \text{ ***})
 \end{aligned}$$

---- d5 =G= demanda mp3 bigbags planta1

$$\begin{aligned}
 \text{d5.. } & 32*x(52) + 32*x(53) + 32*x(54) + 32*x(64) + 32*x(65) + 32*x(66) + 34*x(94) \\
 & + 34*x(95) + 34*x(96) + 34*x(127) + 34*x(128) + 34*x(129) =G= 480 ; \\
 & (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 480 \text{ ***})
 \end{aligned}$$

---- d6 =G= demanda pi planta2

$$\begin{aligned}
 \text{d6.. } & 32*x(43) + 32*x(44) + 32*x(45) + 32*x(46) + 32*x(47) + 32*x(48) \\
 & + 34*x(133) + 34*x(134) + 34*x(135) + 34*x(136) + 34*x(137) + 34*x(138) \\
 & =G= 1280 ; (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 1280 \text{ ***})
 \end{aligned}$$

---- d7 =G= demanda pt1 bogota

$$\begin{aligned}
 \text{d7.. } & 32*x(67) + 32*x(68) + 32*x(69) + 32*x(73) + 32*x(74) + 32*x(75) \\
 & + 34*x(139) + 34*x(140) + 34*x(141) + 34*x(145) + 34*x(146) + 34*x(147) \\
 & =G= 992 ; (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 992 \text{ ***})
 \end{aligned}$$

---- d8 =G= demanda pt1 ca

$$\begin{aligned}
 \text{d8.. } & 32*x(70) + 32*x(71) + 32*x(72) + 32*x(76) + 32*x(77) + 32*x(78) \\
 & + 34*x(142) + 34*x(143) + 34*x(144) + 34*x(148) + 34*x(149) + 34*x(150) \\
 & =G= 2304 ; (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 2304 \text{ ***})
 \end{aligned}$$

---- d9 =G= demanda pt2 bogota

$$d9.. 32*x(1) + 32*x(2) + 32*x(3) + 32*x(4) + 32*x(5) + 32*x(6) =G= 6528 ;$$

$$(LHS = 0, INFES = 6528 ***)$$

---- o1 =L= oferta mp1 granel proveedor a

$$o1.. 32*x(7) + 32*x(8) + 32*x(9) + 32*x(19) + 32*x(20) + 32*x(21) + 34*x(79)$$

$$+ 34*x(80) + 34*x(81) + 34*x(97) + 34*x(98) + 34*x(99) =L= 1696 ;$$

$$(LHS = 0)$$

---- o2 =L= oferta mp1 granel proveedor b

$$o2.. 32*x(10) + 32*x(11) + 32*x(12) + 32*x(22) + 32*x(23) + 32*x(24) + 34*x(82)$$

$$+ 34*x(83) + 34*x(84) + 34*x(100) + 34*x(101) + 34*x(102) =L= 1696 ;$$

$$(LHS = 0)$$

---- o3 =L= oferta mp2 granel proveedor c

$$o3.. 32*x(13) + 32*x(14) + 32*x(15) + 32*x(25) + 32*x(26) + 32*x(27) + 34*x(85)$$

$$+ 34*x(86) + 34*x(87) + 34*x(103) + 34*x(104) + 34*x(105) =L= 1376 ;$$

$$(LHS = 0)$$

---- o4 =L= oferta mp3 granel proveedor c

$$o4.. 32*x(16) + 32*x(17) + 32*x(18) + 32*x(28) + 32*x(29) + 32*x(30) + 34*x(88)$$

$$+ 34*x(89) + 34*x(90) + 34*x(106) + 34*x(107) + 34*x(108) =L= 1152 ;$$

$$(LHS = 0)$$

---- o5 =L= oferta mp2 bigbags proveedor c

$$o5.. 32*x(49) + 32*x(50) + 32*x(51) + 32*x(55) + 32*x(56) + 32*x(57) + 34*x(91)$$

$$+ 34*x(92) + 34*x(93) + 34*x(109) + 34*x(110) + 34*x(111) =L= 928 ;$$

(LHS = 0)

---- o6 =L= oferta mp3 bigbags proveedor c

$$\begin{aligned} \text{o6.. } & 32*x(52) + 32*x(53) + 32*x(54) + 32*x(58) + 32*x(59) + 32*x(60) + 34*x(94) \\ & + 34*x(95) + 34*x(96) + 34*x(112) + 34*x(113) + 34*x(114) =L= 768 ; \end{aligned}$$

(LHS = 0)

---- o7 =L= oferta pi planta1

$$\begin{aligned} \text{o7.. } & 32*x(40) + 32*x(41) + 32*x(42) + 32*x(43) + 32*x(44) + 32*x(45) \\ & + 34*x(130) + 34*x(131) + 34*x(132) + 34*x(133) + 34*x(134) + 34*x(135) \\ & =L= 1280 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- o8 =L= oferta pt1 planta1

$$\begin{aligned} \text{o8.. } & 32*x(67) + 32*x(68) + 32*x(69) + 32*x(70) + 32*x(71) + 32*x(72) \\ & + 34*x(139) + 34*x(140) + 34*x(141) + 34*x(142) + 34*x(143) + 34*x(144) \\ & =L= 4064 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- o9 =L= oferta pt1 planta2

$$\begin{aligned} \text{o9.. } & 32*x(73) + 32*x(74) + 32*x(75) + 32*x(76) + 32*x(77) + 32*x(78) \\ & + 34*x(145) + 34*x(146) + 34*x(147) + 34*x(148) + 34*x(149) + 34*x(150) \\ & =L= 864 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- o10 =L= oferta pt2 planta1

$$\text{o10.. } 32*x(1) + 32*x(2) + 32*x(3) =L= 4992 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- o11 =L= oferta pt2 planta2

$$\text{o11.. } 32*x(4) + 32*x(5) + 32*x(6) =L= 1565 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- dftp =L= disponibilidad tanques propios

$$\text{dftp.. } 7*x(1) + 3*x(4) + 5*x(151) + 2*x(153) =L= 1104 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- dfvp =L= disponibilidad volcos propios

$$\begin{aligned} \text{dfvp.. } & 10*x(7) + 12*x(10) + 15*x(13) + 15*x(16) + 6*x(19) + 7*x(22) + 10*x(25) \\ & + 10*x(28) + 4*x(31) + 4*x(34) + 4*x(37) + 4*x(40) + 8*x(43) + 6*x(46) \\ & + 4*x(155) + 5*x(157) + 5*x(159) + 8*x(161) + 7*x(163) + 9*x(165) \end{aligned}$$

dfvp =L= disponibilidad volcos propios

$$\begin{aligned} & + 11*x(167) + 4*x(169) + 6*x(171) + 7*x(173) + 5*x(175) =L= 2208 ; \\ & (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- dfpp =L= disponibilidad plataformas propias

$$\begin{aligned} \text{dfpp.. } & 15*x(49) + 15*x(52) + 10*x(55) + 10*x(58) + 4*x(61) + 4*x(64) + 7*x(67) \\ & + 4*x(70) + 3*x(73) + 6*x(76) + 8*x(177) + 2*x(179) + 5*x(181) + 2*x(183) \\ & + 10*x(185) + 5*x(187) =L= 1104 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- dfmp =L= disponibilidad multipropósitos propios

$$\begin{aligned} \text{dfmp.. } & 10*x(79) + 12*x(82) + 15*x(85) + 15*x(88) + 15*x(91) + 15*x(94) \\ & + 6*x(97) + 7*x(100) + 10*x(103) + 10*x(106) + 10*x(109) + 10*x(112) \\ & + 4*x(115) + 4*x(118) + 4*x(121) + 4*x(124) + 4*x(127) + 4*x(130) \\ & + 8*x(133) + 6*x(136) + 4*x(191) + 5*x(193) + 6*x(195) + 8*x(197) \\ & + 2*x(199) + 5*x(201) + 2*x(203) + 6*x(205) + 8*x(207) + 10*x(209) \\ & + 7*x(211) + 9*x(213) + 11*x(215) + 4*x(217) + 6*x(219) + 7*x(221) \\ & + 5*x(223) =L= 2760 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- dfta =L= disponibilidad tanques alquilados

$$\text{dfta.. } 7*x(2) + 3*x(5) + 5*x(152) + 2*x(154) =L= 552 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- dfva =L= disponibilidad volcos alquilados

$$\text{dfva.. } 10*x(8) + 12*x(11) + 15*x(14) + 15*x(17) + 6*x(20) + 7*x(23) + 10*x(26)$$

$$\begin{aligned}
& + 10*x(29) + 4*x(32) + 4*x(35) + 4*x(38) + 4*x(41) + 8*x(44) + 6*x(47) \\
& + 4*x(156) + 5*x(158) + 5*x(160) + 8*x(162) + 7*x(164) + 9*x(166) \\
& + 11*x(168) + 4*x(170) + 6*x(172) + 7*x(174) + 5*x(176) =L= 1104 ; \\
& (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- dfpa =L= disponibilidad plataformas alquiladas

$$\begin{aligned}
dfpa.. & 15*x(50) + 15*x(53) + 10*x(56) + 10*x(59) + 4*x(62) + 4*x(65) + 7*x(68) \\
& + 4*x(71) + 3*x(74) + 6*x(77) + 8*x(178) + 2*x(180) + 5*x(182) + 2*x(184) \\
& + 10*x(186) + 5*x(188) =L= 1104 ; (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- dfma =L= disponibilidad multipropósitos alquilados

$$\begin{aligned}
dfma.. & 10*x(80) + 12*x(83) + 15*x(86) + 15*x(89) + 15*x(92) + 15*x(95) \\
& + 6*x(98) + 7*x(101) + 10*x(104) + 10*x(107) + 10*x(110) + 10*x(113) \\
& + 4*x(116) + 4*x(119) + 4*x(122) + 4*x(125) + 4*x(128) + 4*x(131) \\
& + 8*x(134) + 6*x(137) + 4*x(192) + 5*x(194) + 6*x(196) + 8*x(198) \\
& + 2*x(200) + 5*x(202) + 2*x(204) + 6*x(206) + 8*x(208) + 10*x(210) \\
& + 7*x(212) + 9*x(214) + 11*x(216) + 4*x(218) + 6*x(220) + 7*x(222) \\
& + 5*x(224) =L= 1104 ; (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- vtp1 =E= vacios tanque propios 1

$$vtp1.. x(1) - x(151) =E= 0 ; (LHS = 0)$$

---- vtp2 =E= vacios tanque propios 1

$$vtp2.. x(4) - x(153) =E= 0 ; (LHS = 0)$$

---- vvp1 =E= vacios volco propios 1

$$\begin{aligned} \text{vvp1.. } & -x(31) - x(34) - x(37) + x(40) - x(46) + x(155) - x(157) - x(159) \\ & - x(161) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- vvp2 =E= vacios volco propios 2

$$\begin{aligned} \text{vvp2.. } & x(43) + x(46) - x(155) - x(169) - x(171) - x(173) - x(175) =E= 0 ; \\ & (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- vvp3 =E= vacios volco propios 3

vvp3 =E= vacios volco propios 3

$$\text{vvp3.. } x(7) + x(19) - x(157) - x(163) - x(169) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vvp4 =E= vacios volco propios 4

$$\text{vvp4.. } x(10) + x(22) - x(159) - x(165) - x(171) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vvp5 =E= vacios volco propios 5

$$\begin{aligned} \text{vvp5.. } & x(13) + x(16) + x(25) + x(28) - x(161) - x(167) - x(173) =E= 0 ; \\ & (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- vpp1 =E= vacios plataforma propios 1

$$\text{vpp1.. } -x(61) - x(64) + x(70) + x(76) - x(177) + x(179) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vpp2 =E= vacios plataforma propios 2

$$\text{vpp2.. } x(67) + x(73) - x(179) - x(181) - x(183) - x(185) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vpp3 =E= vacios plataforma propios 3

$$\begin{aligned} \text{vpp3.. } & x(49) + x(52) + x(55) + x(58) - x(177) - x(185) - x(187) - x(189) =E= 0 \\ & ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- vmp1 =E= vacios multiproposito propios 1

$$\text{vmp1.. } -x(115) - x(118) - x(121) - x(124) - x(127) + x(130) - x(136) + x(142) \\ + x(148) - x(195) - x(197) + x(199) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp2 =E= vacios multiproposito propios 2

$$\text{vmp2.. } x(139) + x(145) - x(199) - x(201) - x(203) - x(205) - x(207) - x(209) \\ =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp3 =E= vacios multiproposito propios 3

$$\text{vmp3.. } x(133) + x(136) - x(217) - x(219) - x(221) - x(223) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp4 =E= vacios multiproposito propios 4

vmp4 =E= vacios multiproposito propios 4

$$\text{vmp4.. } x(79) + x(97) - x(193) - x(205) - x(211) - x(217) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp5 =E= vacios multiproposito propios 5

$$\text{vmp5.. } x(82) + x(100) - x(195) - x(207) - x(213) - x(219) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vmp6 =E= vacios multiproposito propios 6

$$\text{vmp6.. } x(85) + x(88) + x(91) + x(94) + x(103) + x(106) + x(109) + x(112) \\ - x(197) - x(209) - x(215) - x(221) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vta1 =E= vacios tanque alquilados 1

$$\text{vta1.. } x(2) - x(152) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vta2 =E= vacios tanque alquilados 1

$$\text{vta2.. } x(5) - x(154) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva1 =E= vacios volco alquilados 1

$$\text{vva1.. } -x(32) - x(35) - x(38) + x(41) - x(47) + x(156) - x(158) - x(160) \\ - x(162) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva2 =E= vacios volco alquilados 2

$$\text{vva2.. } x(44) + x(47) - x(156) - x(170) - x(172) - x(174) - x(176) =E= 0 ; \\ (\text{LHS} = 0)$$

---- vva3 =E= vacios volco alquilados 3

$$\text{vva3.. } x(8) + x(20) - x(158) - x(164) - x(170) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva4 =E= vacios volco alquilados 4

$$\text{vva4.. } x(11) + x(23) - x(160) - x(166) - x(172) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vva5 =E= vacios volco alquilados 5

vva5 =E= vacios volco alquilados 5

$$\text{vva5.. } x(14) + x(17) + x(26) + x(29) - x(162) - x(168) - x(174) =E= 0 ; \\ (\text{LHS} = 0)$$

---- vpa1 =E= vacios plataforma alquilados 1

$$\text{vpa1.. } -x(62) - x(65) + x(71) + x(77) - x(178) + x(180) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vpa2 =E= vacios plataforma alquilados 2

$$\text{vpa2.. } x(68) + x(74) - x(180) - x(182) - x(184) - x(186) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vpa3 =E= vacios plataforma alquilados 3

$$\text{vpa3.. } x(50) + x(53) + x(56) + x(59) - x(178) - x(186) - x(188) - x(190) =E= 0 \\ ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vma1 =E= vacios multiproposito alquilados 1

$$\text{vma1.. } -x(116) - x(119) - x(122) - x(125) - x(128) + x(131) - x(137) + x(143) \\ + x(149) - x(196) - x(198) + x(200) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vma2 =E= vacios multiproposito alquilados 2

$$\text{vma2.. } x(140) + x(146) - x(200) - x(202) - x(204) - x(206) - x(208) - x(210) \\ =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vma3 =E= vacios multiproposito alquilados 3

$$\text{vma3.. } x(134) + x(137) - x(218) - x(220) - x(222) - x(224) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vma4 =E= vacios multiproposito alquilados 4

$$\text{vma4.. } x(80) + x(98) - x(194) - x(206) - x(212) - x(218) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vma5 =E= vacios multiproposito alquilados 5

$$\text{vma5.. } x(83) + x(101) - x(196) - x(208) - x(214) - x(220) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- vma6 =E= vacios multiproposito alquilados 6

vma6 =E= vacios multiproposito alquilados 6

$$\text{vma6.. } x(86) + x(89) + x(92) + x(95) + x(104) + x(107) + x(110) + x(113) \\ - x(198) - x(210) - x(216) - x(222) =E= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- a1 =L= almacenamiento mp1 granel 1

$$\text{a1.. } - 32*x(19) - 32*x(20) - 32*x(21) - 32*x(22) - 32*x(23) - 32*x(24) \\ + 32*x(31) + 32*x(32) + 32*x(33) - 34*x(97) - 34*x(98) - 34*x(99) \\ - 34*x(100) - 34*x(101) - 34*x(102) + 34*x(115) + 34*x(116) + 34*x(117) \\ =L= 0 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- a2 =E= almacenamiento mp1 granel 2

$$\text{a2.. } - 32*x(19) - 32*x(20) - 32*x(21) - 32*x(22) - 32*x(23) - 32*x(24) \\ + 32*x(31) + 32*x(32) + 32*x(33) - 34*x(97) - 34*x(98) - 34*x(99) \\ - 34*x(100) - 34*x(101) - 34*x(102) + 34*x(115) + 34*x(116) + 34*x(117)$$

$$+ x(225) = E = 0 ; (LHS = 0)$$

---- a3 =L= almacenamiento mp2 granel 1

$$\begin{aligned} a3.. & - 32*x(25) - 32*x(26) - 32*x(27) + 32*x(34) + 32*x(35) + 32*x(36) \\ & - 34*x(103) - 34*x(104) - 34*x(105) + 34*x(118) + 34*x(119) + 34*x(120) \\ & =L= 0 ; (LHS = 0) \end{aligned}$$

---- a4 =E= almacenamiento mp2 granel 1

$$\begin{aligned} a4.. & - 32*x(25) - 32*x(26) - 32*x(27) + 32*x(34) + 32*x(35) + 32*x(36) \\ & - 34*x(103) - 34*x(104) - 34*x(105) + 34*x(118) + 34*x(119) + 34*x(120) \\ & + x(226) =E= 0 ; (LHS = 0) \end{aligned}$$

---- a5 =L= almacenamiento mp3 granel 1

$$\begin{aligned} a5.. & - 32*x(28) - 32*x(29) - 32*x(30) + 32*x(37) + 32*x(38) + 32*x(39) \\ & - 34*x(106) - 34*x(107) - 34*x(108) + 34*x(121) + 34*x(122) + 34*x(123) \\ & =L= 0 ; (LHS = 0) \end{aligned}$$

---- a6 =E= almacenamiento mp3 granel 2

$$\begin{aligned} a6.. & - 32*x(28) - 32*x(29) - 32*x(30) + 32*x(37) + 32*x(38) + 32*x(39) \\ & - 34*x(106) - 34*x(107) - 34*x(108) + 34*x(121) + 34*x(122) + 34*x(123) \\ & + x(227) =E= 0 ; (LHS = 0) \end{aligned}$$

---- a7 =L= almacenamiento mp2 bigbags 1

$$\begin{aligned} a7.. & - 32*x(55) - 32*x(56) - 32*x(57) + 32*x(61) + 32*x(62) + 32*x(63) \\ & - 34*x(109) - 34*x(110) - 34*x(111) + 34*x(124) + 34*x(125) + 34*x(126) \\ & =L= 0 ; (LHS = 0) \end{aligned}$$

---- a8 =E= almacenamiento mp2 bigbags 2

$$a8.. - 32*x(55) - 32*x(56) - 32*x(57) + 32*x(61) + 32*x(62) + 32*x(63)$$

$$- 34*x(109) - 34*x(110) - 34*x(111) + 34*x(124) + 34*x(125) + 34*x(126) + x(228) = E = 0 ; (LHS = 0)$$

---- a9 =L= almacenamiento mp3 bigbags 1

$$a9.. - 32*x(58) - 32*x(59) - 32*x(60) + 32*x(64) + 32*x(65) + 32*x(66) - 34*x(112) - 34*x(113) - 34*x(114) + 34*x(127) + 34*x(128) + 34*x(129) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

---- a10 =E= almacenamiento mp3 bigbags 2

$$a10.. - 32*x(58) - 32*x(59) - 32*x(60) + 32*x(64) + 32*x(65) + 32*x(66) - 34*x(112) - 34*x(113) - 34*x(114) + 34*x(127) + 34*x(128) + 34*x(129) + x(229) = E = 0 ; (LHS = 0)$$

---- a11 =L= almacenamiento pi 1

$$a11.. - 32*x(40) - 32*x(41) - 32*x(42) + 32*x(46) + 32*x(47) + 32*x(48) - 34*x(130) - 34*x(131) - 34*x(132) + 34*x(136) + 34*x(137) + 34*x(138) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

---- a12 =E= almacenamiento pi 2

a12 =E= almacenamiento pi 2

$$a12.. - 32*x(40) - 32*x(41) - 32*x(42) + 32*x(46) + 32*x(47) + 32*x(48) - 34*x(130) - 34*x(131) - 34*x(132) + 34*x(136) + 34*x(137) + 34*x(138) + x(230) = E = 0 ; (LHS = 0)$$

---- x viajes

x(1)  
 (.LO, .L, .UP = 0, 0, 100)  
 305 ob  
 32 d9  
 32 o10  
 7 dftp

1 vtp1

x(2)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, 100)

332 ob  
32 d9  
32 o10  
7 dfta  
1 vta1

x(3)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, 100)

1093 ob  
32 d9  
32 o10

REMAINING 227 ENTRIES SKIPPED

---- f funcion objetivo

f

(.LO, .L, .UP = -INF, 0, +INF)

-1 ob

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	73	SINGLE EQUATIONS	73
BLOCKS OF VARIABLES	2	SINGLE VARIABLES	231
NON ZERO ELEMENTS	993	DISCRETE VARIABLES	230

GENERATION TIME = 0.031 SECONDS 1.6 Mb WIN207-133

EXECUTION TIME = 0.031 SECONDS 1.6 Mb WIN207-133

### SOLVE SUMMARY

MODEL ent1	OBJECTIVE f
TYPE MIP	DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX	FROM LINE 171

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 230071.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.140    1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT    207      10000

GAMS/Cplex    Jun 14, 2002 WIN.CP.CP 20.7 022.024.040.VIS For Cplex 7.5  
 Cplex 7.5.0, GAMS Link 22  
 Licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Proven optimal solution.

MIP Solution:    230071.000000 (207 iterations, 93 nodes)  
 Final LP:        230071.000000 (0 iterations)

Best integer solution possible:    230071.000000  
 Absolute gap:            0.000000  
 Relative gap:            0.000000

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU ob	.	.	.	-1.000
---- EQU d1	2048.000	2050.000	+INF	.
---- EQU d2	832.000	838.000	+INF	.
---- EQU d3	704.000	704.000	+INF	.
---- EQU d4	544.000	544.000	+INF	.
---- EQU d5	480.000	480.000	+INF	.
---- EQU d6	1280.000	1280.000	+INF	.
---- EQU d7	992.000	1000.000	+INF	.
---- EQU d8	2304.000	2336.000	+INF	.
---- EQU d9	6528.000	6528.000	+INF	.
---- EQU o1	-INF	1666.000	1696.000	.
---- EQU o2	-INF	384.000	1696.000	.
---- EQU o3	-INF	838.000	1376.000	.
---- EQU o4	-INF	704.000	1152.000	.
---- EQU o5	-INF	544.000	928.000	.
---- EQU o6	-INF	480.000	768.000	.
---- EQU o7	-INF	1280.000	1280.000	.
---- EQU o8	-INF	2472.000	4064.000	.
---- EQU o9	-INF	864.000	864.000	.
---- EQU o10	-INF	4992.000	4992.000	.
---- EQU o11	-INF	1536.000	1565.000	.
---- EQU dftp	-INF	1104.000	1104.000	.
---- EQU dfvp	-INF	1143.000	2208.000	.
---- EQU dfpp	-INF	450.000	1104.000	.
---- EQU dfmp	-INF	1650.000	2760.000	.
---- EQU dfta	-INF	552.000	552.000	.
---- EQU dfva	-INF	.	1104.000	.
---- EQU dfpa	-INF	.	1104.000	.
---- EQU dfma	-INF	.	1104.000	.
---- EQU vtp1	.	.	.	.

```

---- EQU vtp2      .      .      .      .
---- EQU vvp1      .      .      .      .
---- EQU vvp2      .      .      .      .
---- EQU vvp3      .      .      .      .
---- EQU vvp4      .      .      .      .
---- EQU vvp5      .      .      .      .
---- EQU vpp1      .      .      .      .
---- EQU vpp2      .      .      .      .
---- EQU vpp3      .      .      .      .
---- EQU vmp1      .      .      .      .
---- EQU vmp2      .      .      .      .
---- EQU vmp3      .      .      .      .
---- EQU vmp4      .      .      .      .
---- EQU vmp5      .      .      .      .
---- EQU vmp6      .      .      .      .
---- EQU vta1      .      .      .      .
---- EQU vta2      .      .      .      .
---- EQU vva1      .      .      .      .
---- EQU vva2      .      .      .      .
---- EQU vva3      .      .      .      .
---- EQU vva4      .      .      .      .
---- EQU vva5      .      .      .      .
---- EQU vpa1      .      .      .      .
---- EQU vpa2      .      .      .      .
---- EQU vpa3      .      .      .      .
---- EQU vma1      .      .      .      .
---- EQU vma2      .      .      .      .
---- EQU vma3      .      .      .      .
---- EQU vma4      .      .      .      .
---- EQU vma5      .      .      .      .
---- EQU vma6      .      .      .      .
---- EQU a1        -INF   .      .      .
---- EQU a2        .      .      .      .
---- EQU a3        -INF   .      .      .
---- EQU a4        .      .      .      .
---- EQU a5        -INF   .      .      .
---- EQU a6        .      .      .      .
---- EQU a7        -INF   .      .      .
---- EQU a8        .      .      .      .
---- EQU a9        -INF   .      .      .
---- EQU a10       .      .      .      .
---- EQU a11       -INF   .      .      .
---- EQU a12       .      .      .      .

```

ob    funcion objetivo  
d1    demanda mp1 granel planta1

d2 demanda mp2 granel planta1  
d3 demanda mp3 granel planta1  
d4 demanda mp2 bigbags planta1  
d5 demanda mp3 bigbags planta1  
d6 demanda pi planta2  
d7 demanda pt1 bogota  
d8 demanda pt1 ca  
d9 demanda pt2 bogota  
o1 oferta mp1 granel proveedor a  
o2 oferta mp1 granel proveedor b  
o3 oferta mp2 granel proveedor c  
o4 oferta mp3 granel proveedor c  
o5 oferta mp2 bigbags proveedor c  
o6 oferta mp3 bigbags proveedor c  
o7 oferta pi planta1  
o8 oferta pt1 planta1  
o9 oferta pt1 planta2  
o10 oferta pt2 planta1  
o11 oferta pt2 planta2  
dftp disponibilidad tanques propios  
dfvp disponibilidad volcos propios  
dfpp disponibilidad plataformas propias  
dfmp disponibilidad multipropósitos propios  
dfta disponibilidad tanques alquilados  
dfva disponibilidad volcos alquilados  
dfpa disponibilidad plataformas alquiladas  
dfma disponibilidad multipropósitos alquilados  
vtp1 vacíos tanque propios 1  
vtp2 vacíos tanque propios 1  
vvp1 vacíos volco propios 1  
vvp2 vacíos volco propios 2  
vvp3 vacíos volco propios 3  
vvp4 vacíos volco propios 4  
vvp5 vacíos volco propios 5  
vpp1 vacíos plataforma propios 1  
vpp2 vacíos plataforma propios 2  
vpp3 vacíos plataforma propios 3  
vmp1 vacíos multipropósito propios 1  
vmp2 vacíos multipropósito propios 2  
vmp3 vacíos multipropósito propios 3  
vmp4 vacíos multipropósito propios 4  
vmp5 vacíos multipropósito propios 5  
vmp6 vacíos multipropósito propios 6  
vta1 vacíos tanque alquilados 1  
vta2 vacíos tanque alquilados 1  
vva1 vacíos volco alquilados 1  
vva2 vacíos volco alquilados 2  
vva3 vacíos volco alquilados 3  
vva4 vacíos volco alquilados 4

vva5 vacios volco alquilados 5  
 vpa1 vacios plataforma alquilados 1  
 vpa2 vacios plataforma alquilados 2  
 vpa3 vacios plataforma alquilados 3  
 vma1 vacios multiproposito alquilados 1  
 vma2 vacios multiproposito alquilados 2  
 vma3 vacios multiproposito alquilados 3  
 vma4 vacios multiproposito alquilados 4  
 vma5 vacios multiproposito alquilados 5  
 vma6 vacios multiproposito alquilados 6  
 a1 almacenamiento mp1 granel 1  
 a2 almacenamiento mp1 granel 2  
 a3 almacenamiento mp2 granel 1  
 a4 almacenamiento mp2 granel 1  
 a5 almacenamiento mp3 granel 1  
 a6 almacenamiento mp3 granel 2  
 a7 almacenamiento mp2 bigbags 1  
 a8 almacenamiento mp2 bigbags 2  
 a9 almacenamiento mp3 bigbags 1  
 a10 almacenamiento mp3 bigbags 2  
 a11 almacenamiento pi 1  
 a12 almacenamiento pi 2

---- VAR x viajes

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	92.000	100.000	305.000
2	.	46.000	100.000	332.000
3	.	18.000	100.000	1093.000
4	.	.	100.000	100.000
5	.	.	100.000	125.000
6	.	48.000	100.000	416.000
7	.	.	100.000	890.000
8	.	.	100.000	945.000
9	.	.	100.000	1553.000
10	.	.	100.000	926.000
11	.	.	100.000	970.000
12	.	.	100.000	1553.000
13	.	.	100.000	963.000
14	.	.	100.000	1011.000
15	.	.	100.000	1553.000
16	.	.	100.000	963.000
17	.	.	100.000	1011.000
18	.	.	100.000	1553.000
19	.	.	100.000	412.000
20	.	.	100.000	449.000
21	.	.	100.000	950.000
22	.	12.000	100.000	428.000

23	.	.	100.000	466.000
24	.	.	100.000	950.000
25	.	6.000	100.000	369.000
26	.	.	100.000	395.000
27	.	.	100.000	950.000
28	.	5.000	100.000	369.000
29	.	.	100.000	395.000
30	.	.	100.000	950.000
31	.	29.000	100.000	80.000
32	.	.	100.000	100.000
33	.	.	100.000	1093.000
34	.	6.000	100.000	80.000
35	.	.	100.000	100.000
36	.	.	100.000	1093.000
37	.	5.000	100.000	80.000
38	.	.	100.000	100.000
39	.	.	100.000	1093.000
40	.	40.000	100.000	250.000
41	.	.	100.000	275.000
42	.	.	100.000	1093.000
43	.	.	100.000	399.000
44	.	.	100.000	414.000
45	.	.	100.000	1093.000
46	.	40.000	100.000	115.000
47	.	.	100.000	136.000
48	.	.	100.000	416.000
49	.	.	100.000	972.000
50	.	.	100.000	1020.000
51	.	.	100.000	1553.000
52	.	.	100.000	972.000
53	.	.	100.000	1020.000
54	.	.	100.000	1553.000
55	.	17.000	100.000	378.000
56	.	.	100.000	404.000
57	.	.	100.000	950.000
58	.	15.000	100.000	378.000
59	.	.	100.000	404.000
60	.	.	100.000	950.000
61	.	.	100.000	98.000
62	.	.	100.000	118.000
63	.	.	100.000	1093.000
64	.	15.000	100.000	98.000
65	.	.	100.000	118.000
66	.	.	100.000	1093.000
67	.	.	100.000	325.000
68	.	.	100.000	352.000
69	.	.	100.000	1093.000
70	.	5.000	100.000	250.000
71	.	.	100.000	275.000

72	.	.	100.000	1093.000
73	.	10.000	100.000	100.000
74	.	.	100.000	125.000
75	.	.	100.000	416.000
76	.	.	100.000	155.000
77	.	.	100.000	180.000
78	.	.	100.000	416.000
79	.	.	100.000	946.000
80	.	.	100.000	1004.000
81	.	.	100.000	1651.000
82	.	.	100.000	984.000
83	.	.	100.000	1031.000
84	.	.	100.000	1651.000
85	.	.	100.000	1023.000
86	.	.	100.000	1074.000
87	.	.	100.000	1651.000
88	.	.	100.000	1023.000
89	.	.	100.000	1074.000
90	.	.	100.000	1651.000
91	.	.	100.000	1032.000
92	.	.	100.000	1083.000
93	.	.	100.000	1651.000
94	.	.	100.000	1032.000
95	.	.	100.000	1083.000
96	.	.	100.000	1651.000
97	.	49.000	100.000	438.000
98	.	.	100.000	477.000
99	.	.	100.000	1010.000
100	.	.	100.000	455.000
101	.	.	100.000	495.000
102	.	.	100.000	1010.000
103	.	19.000	100.000	392.000
104	.	.	100.000	420.000
105	.	.	100.000	1010.000
106	.	16.000	100.000	392.000
107	.	.	100.000	420.000
108	.	.	100.000	1010.000
109	.	.	100.000	401.000
110	.	.	100.000	428.000
111	.	.	100.000	1010.000
112	.	.	100.000	401.000
113	.	.	100.000	428.000
114	.	.	100.000	1010.000
115	.	33.000	100.000	85.000
116	.	.	100.000	106.000
117	.	.	100.000	1161.000
118	.	19.000	100.000	85.000
119	.	.	100.000	106.000
120	.	.	100.000	1161.000

121	.	16.000	100.000	85.000
122	.	.	100.000	106.000
123	.	.	100.000	1161.000
124	.	16.000	100.000	94.000
125	.	.	100.000	115.000
126	.	.	100.000	1161.000
127	.	.	100.000	94.000
128	.	.	100.000	115.000
129	.	.	100.000	1161.000
130	.	.	100.000	266.000
131	.	.	100.000	292.000
132	.	.	100.000	1161.000
133	.	.	100.000	423.000
134	.	.	100.000	440.000
135	.	.	100.000	1161.000
136	.	.	100.000	122.000
137	.	.	100.000	145.000
138	.	.	100.000	442.000
139	.	4.000	100.000	324.000
140	.	.	100.000	353.000
141	.	.	100.000	1161.000
142	.	64.000	100.000	266.000
143	.	.	100.000	292.000
144	.	.	100.000	1161.000
145	.	16.000	100.000	101.000
146	.	.	100.000	126.000
147	.	.	100.000	442.000
148	.	.	100.000	165.000
149	.	.	100.000	191.000
150	.	.	100.000	442.000
151	.	92.000	100.000	100.000
152	.	46.000	100.000	125.000
153	.	.	100.000	50.000
154	.	.	100.000	70.000
155	.	40.000	100.000	60.000
156	.	.	100.000	81.000
157	.	.	100.000	110.000
158	.	.	100.000	132.000
159	.	.	100.000	129.000
160	.	.	100.000	155.000
161	.	.	100.000	157.000
162	.	.	100.000	189.000
163	.	.	100.000	198.000
164	.	.	100.000	229.000
165	.	12.000	100.000	224.000
166	.	.	100.000	262.000
167	.	11.000	100.000	270.000
168	.	.	100.000	315.000
169	.	.	100.000	76.000

170	.	.	100.000	91.000
171	.	.	100.000	81.000
172	.	.	100.000	99.000
173	.	.	100.000	98.000
174	.	.	100.000	121.000
175	.	.	100.000	138.000
176	.	.	100.000	159.000
177	.	.	100.000	157.000
178	.	.	100.000	189.000
179	.	10.000	100.000	30.000
180	.	.	100.000	50.000
181	.	.	100.000	100.000
182	.	.	100.000	125.000
183	.	.	100.000	50.000
184	.	.	100.000	70.000
185	.	.	100.000	148.000
186	.	.	100.000	178.000
187	.	.	100.000	270.000
188	.	.	100.000	315.000
189	.	32.000	100.000	98.000
190	.	.	100.000	121.000
191	.	.	100.000	60.000
192	.	.	100.000	81.000
193	.	49.000	100.000	110.000
194	.	.	100.000	132.000
195	.	.	100.000	129.000
196	.	.	100.000	155.000
197	.	.	100.000	157.000
198	.	.	100.000	189.000
199	.	20.000	100.000	30.000
200	.	.	100.000	50.000
201	.	.	100.000	100.000
202	.	.	100.000	125.000
203	.	.	100.000	50.000
204	.	.	100.000	70.000
205	.	.	100.000	85.000
206	.	.	100.000	106.000
207	.	.	100.000	111.000
208	.	.	100.000	139.000
209	.	.	100.000	148.000
210	.	.	100.000	178.000
211	.	.	100.000	198.000
212	.	.	100.000	229.000
213	.	.	100.000	224.000
214	.	.	100.000	262.000
215	.	35.000	100.000	270.000
216	.	.	100.000	315.000
217	.	.	100.000	76.000
218	.	.	100.000	91.000

219	.	.	100.000	81.000
220	.	.	100.000	99.000
221	.	.	100.000	98.000
222	.	.	100.000	121.000
223	.	.	100.000	138.000
224	.	.	100.000	159.000
225	.	.	100.000	1.000
226	.	.	100.000	1.000
227	.	.	100.000	1.000
228	.	.	100.000	1.000
229	.	.	100.000	1.000
230	.	.	100.000	1.000
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL

--- VAR f      -INF 2.3007E+5    +INF .

f funcion objetivo

\*\*\*\* REPORT SUMMARY :    0    NONOPT  
                          0 INFEASIBLE  
                          0 UNBOUNDED

GAMS Rev 133 Windows NT/95/98                            05/16/05 09:01:25 Page 30  
General Algebraic Modeling System  
Solution Report    SOLVE ent1 Using MIP From line 171

EXECUTION TIME    =    0.000 SECONDS    0.8 Mb    WIN207-133

USER: Danilo Abril Hernandez                            G021129:1442AB-WIN  
                          Universidad Industrial de Santander, Escuela de Estudios InDC4015

\*\*\*\* FILE SUMMARY

INPUT    C:\WINDOWS\GAMSDIR\GAMSEDUARDO\CENTRO ACOPIO2.GMS  
OUTPUT    C:\WINDOWS\GAMSDIR\CENTRO ACOPIO2.LST



## **ANEXO F: FORMATO DE RESULTADOS EXCEL**

Los formatos de interpretación de resultados fueron elaborados en EXCEL, con el fin de agilizar la lectura de los resultados obtenidos mediante los modelos matemáticos. Estos formatos fueron desarrollados independientemente para cada estrategia logística.

Los formatos de resultados se presentan por separado para cada estrategia logística y para cada tipo de contenedor.



**Figura 4** CEDI Bogotá, contenedor tipo tanque

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$ / viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X1,8,1,1	92	304.855	2.944	28.046.660	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI B/tá	Propios
X1,8,1,2	46	331.687	1.472	15.257.602	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI B/tá	Alquilados
X1,8,1,3	18	1.093.031	576	19.674.558	Tanque	PT2	Planta 1	CEDI B/tá	Contratista
X1,8,3,1	0	100.126	0	0	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI B/tá	Propios
X1,8,3,2	0	125.031	0	0	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI B/tá	Alquilados
X1,8,3,3	48	416.000	1.536	19.968.000	Tanque	PT2	Planta 2	CEDI B/tá	Contratista
X1,9,14,1	92	100.000	N/A	9.200.000	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Propios
X1,9,14,2	46	125.000	N/A	5.750.000	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Alquilados
X1,9,15,1	0	50.000	N/A	0	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Propios
X1,9,15,2	0	70.000	N/A	0	Tanque	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Alquilados

**Figura 5** CEDI Bogotá, contenedor tipo volco

Vble	Sin. (Viajes)	Costo Flete (\$ / viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X2,1,4,1	1	99.231	32	99.231	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	Propios
X2,1,4,2	0	123.805	0	0	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	Alquilados
X2,1,4,3	0	50.348	0	0	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	Contratista
X2,1,5,1	8	68.949	256	551.592	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	Propios
X2,1,5,2	0	970.000	0	0	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	Alquilados
X2,1,5,3	0	1.553.632	0	0	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	Contratista
X2,2,6,1	9	963.000	288	8.667.000	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	Propios
X2,2,6,2	0	1.011.000	0	0	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X2,2,6,3	0	1.553.632	0	0	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X2,3,6,1	5	963.000	160	4.815.000	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	Propios
X2,3,6,2	0	1.011.000	0	0	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X2,3,6,3	0	1.553.632	0	0	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X2,6,2,1	23	399.000	736	9.177.000	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	Propios
X2,6,2,2	0	414.000	0	0	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	Alquilados
X2,6,2,3	0	1.093.056	0	0	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	Contratista
X2,9,7,1	0	198.113	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 1	Proveedor A	Propios
X2,9,7,2	0	229.364	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 1	Proveedor A	Alquilados
X2,9,8,1	0	223.852	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 1	Proveedor B	Propios
X2,9,8,2	0	261.756	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 1	Proveedor B	Alquilados
X2,9,9,1	0	269.554	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 1	Proveedor C	Propios
X2,9,9,2	0	314.493	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 1	Proveedor C	Alquilados
X2,9,10,1	1	76.831	N/A	76.831	Volco	VACÍO	Planta 2	Proveedor A	Propios
X2,9,10,2	0	90.852	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 2	Proveedor A	Alquilados
X2,9,11,1	8	81.239	N/A	649.912	Volco	VACÍO	Planta 2	Proveedor B	Propios
X2,9,11,2	0	98.728	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 2	Proveedor B	Alquilados
X2,9,12,1	14	98.211	N/A	1.374.954	Volco	VACÍO	Planta 2	Proveedor C	Propios
X2,9,12,2	0	121.003	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 2	Proveedor C	Alquilados
X2,9,13,1	0	137.659	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 2	Planta 1	Propios
X2,9,13,2	0	158.387	N/A	0	Volco	VACÍO	Planta 2	Planta 1	Alquilados

**Figura 6** CEDI Bogotá, contenedor tipo plataforma

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$ / viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X3,4,6,1	0	971.878	0	0	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X3,4,6,2	0	1.019.238	0	0	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X3,4,6,3	0	1.553.632	0	0	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X3,5,6,1	15	971.878	480	14.578.170	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X3,5,6,2	0	1.019.238	0	0	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X3,5,6,3	0	1.553.632	0	0	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X3,7,1,1	0	304.855	0	0	Plataforma	PT1	Planta 1	CEDI B/tá	Propios
X3,7,1,2	0	331.687	0	0	Plataforma	PT1	Planta 1	CEDI B/tá	Alquilados
X3,7,1,3	0	1.093.031	0	0	Plataforma	PT1	Planta 1	CEDI B/tá	Contratista
X3,7,3,1	23	95.000	736	2.185.000	Plataforma	PT1	Planta 2	CEDI B/tá	Propios
X3,7,3,2	0	119.000	0	0	Plataforma	PT1	Planta 2	CEDI B/tá	Alquilados
X3,7,3,3	0	416.000	0	0	Plataforma	PT1	Planta 2	CEDI B/tá	Contratista
X3,9,9,1	0	270.561	N/A	0	Plataforma	VACÍO	Planta 1	Proveedor C	Propios
X3,9,9,2	0	314.993	N/A	0	Plataforma	VACÍO	Planta 1	Proveedor C	Alquilados
X3,9,12,1	0	97.842	N/A	0	Plataforma	VACÍO	Planta 2	Proveedor C	Propios
X3,9,12,2	0	121.003	N/A	0	Plataforma	VACÍO	Planta 2	Proveedor C	Alquilados
X3,9,14,1	0	100.412	N/A	0	Plataforma	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Propios
X3,9,14,2	0	123.805	N/A	0	Plataforma	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Alquilados
X3,9,15,1	8	50.204	N/A	401.632	Plataforma	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Propios
X3,9,15,2	0	68.949	N/A	0	Plataforma	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Alquilados
X3,9,18,1	15	147.788	N/A	2.216.820	Plataforma	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor C	Propios
X3,9,18,2	0	177.679	N/A	0	Plataforma	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor C	Alquilados

**Figura 7** CEDI Bogotá, contenedor tipo multipropósito (cargado)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$ / viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X4,1,4,1	52	945.755	1.768	49.179.260	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	Propios
X4,1,4,2	0	1.003.772	0	0	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	Alquilados
X4,1,4,3	0	1.650.734	0	0	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	Contratista
X4,1,5,1	0	983.880	0	0	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	Propios
X4,1,5,2	0	1.030.630	0	0	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	Alquilados
X4,1,5,3	0	1.650.734	0	0	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	Contratista
X4,2,6,1	16	1.023.190	544	16.371.040	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,2,6,2	0	1.074.190	0	0	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,2,6,3	0	1.650.734	0	0	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,3,6,1	16	1.023.190	544	16.371.040	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,3,6,2	0	1.074.190	0	0	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,3,6,3	0	1.650.734	0	0	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,4,6,1	16	1.032.875	544	16.526.000	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,4,6,2	0	1.083.750	0	0	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,4,6,3	0	1.650.734	0	0	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,5,6,1	0	1.032.875	0	0	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,5,6,2	0	1.083.750	0	0	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,5,6,3	0	1.650.734	0	0	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,6,2,1	16	423.402	544	6.774.432	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	Propios
X4,6,2,2	0	439.880	0	0	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	Alquilados
X4,6,2,3	0	1.161.372	0	0	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	Contratista
X4,7,1,1	71	324.060	2.414	23.008.260	Multipropósito	PT1	Planta 1	CEDI B/tá	Propios
X4,7,1,2	0	352.750	0	0	Multipropósito	PT1	Planta 1	CEDI B/tá	Alquilados
X4,7,1,3	0	1.161.372	0	0	Multipropósito	PT1	Planta 1	CEDI B/tá	Contratista
X4,7,3,1	13	100.940	442	1.312.220	Multipropósito	PT1	Planta 2	CEDI B/tá	Propios
X4,7,3,2	0	126.440	0	0	Multipropósito	PT1	Planta 2	CEDI B/tá	Alquilados
X4,7,3,3	0	442.000	0	0	Multipropósito	PT1	Planta 2	CEDI B/tá	Contratista

**Figura 8** CEDI Bogotá, contenedor tipo multipropósito (vacío)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$ / viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X4,9,7,1	0	198.113	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 1	Proveedor A	Propios
X4,9,7,2	0	229.364	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 1	Proveedor A	Alquilados
X4,9,8,1	0	223.852	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 1	Proveedor B	Propios
X4,9,8,2	0	261.756	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 1	Proveedor B	Alquilados
X4,9,9,1	0	269.554	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 1	Proveedor C	Propios
X4,9,9,2	0	314.493	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 1	Proveedor C	Alquilados
X4,9,10,1	0	58.763	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Proveedor A	Propios
X4,9,10,2	0	89.398	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Proveedor A	Alquilados
X4,9,11,1	0	76.831	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Proveedor B	Propios
X4,9,11,2	0	90.852	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Proveedor B	Alquilados
X4,9,12,1	16	81.239	N/A	1.299.824	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Proveedor C	Propios
X4,9,12,2	0	98.728	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Proveedor C	Alquilados
X4,9,13,1	0	98.211	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Planta 1	Propios
X4,9,13,2	0	121.003	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	Planta 2	Planta 1	Alquilados
X4,9,14,1	0	99.231	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Propios
X4,9,14,2	0	123.805	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 1	Alquilados
X4,9,15,1	0	50.348	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Propios
X4,9,15,2	0	68.949	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Planta 2	Alquilados
X4,9,16,1	52	99.937	N/A	5.196.734	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor A	Propios
X4,9,16,2	0	108.601	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor A	Alquilados
X4,9,17,1	0	133.103	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor B	Propios
X4,9,17,2	0	174.226	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor B	Alquilados
X4,9,18,1	32	147.788	N/A	4.729.216	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor C	Propios
X4,9,18,2	0	177.679	N/A	0	Multipropósito	VACÍO	CEDI B/tá	Proveedor C	Alquilados

**Figura 9** C.A., contenedor tipo tanque

Vble	Sin. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X1,8,1,1	92	304.855,00	2.944,00	28.046.660,00	Tanque	PT2	Planta 1	Bogotá	Propios
X1,8,1,2	46	331.687,00	1.472,00	15.257.602,00	Tanque	PT2	Planta 1	Bogotá	Alquilados
X1,8,1,3	18	1.093.031,00	576,00	19.674.558,00	Tanque	PT2	Planta 1	Bogotá	Contratista
X1,8,4,1	0	100.126,00	0,00	0,00	Tanque	PT2	Planta 2	Bogotá	Propios
X1,8,4,2	0	125.031,00	0,00	0,00	Tanque	PT2	Planta 2	Bogotá	Alquilados
X1,8,4,3	48	416.000,00	1.536,00	19.968.000,00	Tanque	PT2	Planta 2	Bogotá	Contratista
X1,9,18,1	92	99.231,00	N/A	9.129.252,00	Tanque	Vacío	Bogotá	Planta 1	Propios
X1,9,18,2	46	123.805,00	N/A	5.695.030,00	Tanque	Vacío	Bogotá	Planta 1	Alquilados
X1,9,19,1	0	50.348,00	N/A	0,00	Tanque	Vacío	Bogotá	Planta 2	Propios
X1,9,19,2	0	68.949,00	N/A	0,00	Tanque	Vacío	Bogotá	Planta 2	Alquilados

Figura 10 C.A., contenedor tipo volco (cargado)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X2,1,6,1	0	887.911,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	Propios
X2,1,6,2	0	944.316,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	Alquilados
X2,1,6,3	0	1.553.632,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor A	Planta 1	Contratista
X2,1,7,1	0	926.715,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	Propios
X2,1,7,2	0	970.134,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	Alquilados
X2,1,7,3	0	1.553.632,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor B	Planta 1	Contratista
X2,2,8,1	0	963.111,00	0,00	0,00	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	Propios
X2,2,8,2	0	1.011.002,00	0,00	0,00	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X2,2,8,3	0	1.553.632,00	0,00	0,00	Volco	MP2	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X2,3,8,1	0	963.111,00	0,00	0,00	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	Propios
X2,3,8,2	0	1.011.002,00	0,00	0,00	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X2,3,8,3	0	1.553.632,00	0,00	0,00	Volco	MP3	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X2,1,9,1	0	412.007,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor A	C.A.	Propios
X2,1,9,2	0	448.741,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor A	C.A.	Alquilados
X2,1,9,3	0	950.464,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor A	C.A.	Contratista
X2,1,10,1	12	427.564,00	384,00	5.130.768,00	Volco	MP1	Proveedor B	C.A.	Propios
X2,1,10,2	0	466.039,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor B	C.A.	Alquilados
X2,1,10,3	0	950.464,00	0,00	0,00	Volco	MP1	Proveedor B	C.A.	Contratista
X2,2,11,1	6	369.256,00	192,00	2.215.536,00	Volco	MP2	Proveedor C	C.A.	Propios
X2,2,11,2	0	395.130,00	0,00	0,00	Volco	MP2	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X2,2,11,3	0	950.464,00	0,00	0,00	Volco	MP2	Proveedor C	C.A.	Contratista
X2,3,11,1	5	369.256,00	160,00	1.846.280,00	Volco	MP3	Proveedor C	C.A.	Propios
X2,3,11,2	0	395.130,00	0,00	0,00	Volco	MP3	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X2,3,11,3	0	950.464,00	0,00	0,00	Volco	MP3	Proveedor C	C.A.	Contratista
X2,1,12,1	29	80.191,00	928,00	2.325.539,00	Volco	MP1	C.A.	Planta 1	Propios
X2,1,12,2	0	100.094,00	0,00	0,00	Volco	MP1	C.A.	Planta 1	Alquilados
X2,1,12,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Volco	MP1	C.A.	Planta 1	Contratista
X2,2,12,1	6	80.191,00	192,00	481.146,00	Volco	MP2	C.A.	Planta 1	Propios
X2,2,12,2	0	100.094,00	0,00	0,00	Volco	MP2	C.A.	Planta 1	Alquilados
X2,2,12,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Volco	MP2	C.A.	Planta 1	Contratista
X2,3,12,1	5	80.191,00	160,00	400.955,00	Volco	MP3	C.A.	Planta 1	Propios
X2,3,12,2	0	100.094,00	0,00	0,00	Volco	MP3	C.A.	Planta 1	Alquilados
X2,3,12,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Volco	MP3	C.A.	Planta 1	Contratista
X2,6,2,1	40	249.814,00	1.280,00	9.992.560,00	Volco	PI	Planta 1	C.A.	Propios
X2,6,2,2	0	274.632,00	0,00	0,00	Volco	PI	Planta 1	C.A.	Alquilados
X2,6,2,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Volco	PI	Planta 1	C.A.	Contratista
X2,6,3,1	0	399.041,00	0,00	0,00	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	Propios
X2,6,3,2	0	413.758,00	0,00	0,00	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	Alquilados
X2,6,3,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Volco	PI	Planta 1	Planta 2	Contratista
X2,6,13,1	40	114.719,00	1.280,00	4.588.760,00	Volco	PI	C.A.	Planta 2	Propios
X2,6,13,2	0	136.698,00	0,00	0,00	Volco	PI	C.A.	Planta 2	Alquilados
X2,6,13,3	0	416.000,00	0,00	0,00	Volco	PI	C.A.	Planta 2	Contratista

**Figura 11** C.A., contenedor tipo volco (vacío)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X2,9,5,1	40	58.763,00	N/A	2.350.520,00	Volco	Vacío	Planta 2	C.A.	Propios
X2,9,5,2	0	81.271,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	C.A.	Alquilados
X2,9,14,1	0	109.412,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor A	Propios
X2,9,14,2	0	132.347,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor A	Alquilados
X2,9,15,1	0	128.911,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor B	Propios
X2,9,15,2	0	154.122,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor B	Alquilados
X2,9,16,1	0	157.036,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor C	Propios
X2,9,16,2	0	188.555,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	C.A.	Proveedor C	Alquilados
X2,9,23,1	0	198.113,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor A	Propios
X2,9,23,2	0	229.364,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor A	Alquilados
X2,9,24,1	12	223.852,00	N/A	2.686.224,00	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor B	Propios
X2,9,24,2	0	261.756,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor B	Alquilados
X2,9,25,1	11	269.554,00	N/A	2.965.094,00	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor C	Propios
X2,9,25,2	0	314.493,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 1	Proveedor C	Alquilados
X2,9,26,1	0	76.831,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor A	Propios
X2,9,26,2	0	90.852,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor A	Alquilados
X2,9,27,1	0	81.239,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor B	Propios
X2,9,27,2	0	98.728,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor B	Alquilados
X2,9,28,1	0	98.211,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor C	Propios
X2,9,28,2	0	121.003,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Proveedor C	Alquilados
X2,9,29,1	0	137.659,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Planta 1	Propios
X2,9,29,2	0	158.387,00	N/A	0,00	Volco	Vacío	Planta 2	Planta 1	Alquilados

**Figura 12, C.A., contenedor tipo plataforma (cargado)**

Vble	Sin. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X3,4,8,1	0	971.878,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X3,4,8,2	0	1.019.238,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X3,4,8,3	0	1.553.632,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X3,5,8,1	0	971.878,00	0,00	0,00	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X3,5,8,2	0	1.019.238,00	0,00	0,00	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X3,5,8,3	0	1.553.632,00	0,00	0,00	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X3,4,11,1	17	377.835,00	544,00	6.423.195,00	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	Propios
X3,4,11,2	0	413.503,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X3,4,11,3	0	950.464,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	Contratista
X3,5,11,1	15	377.835,00	480,00	5.667.525,00	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	Propios
X3,5,11,2	0	413.503,00	0,00	0,00	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X3,5,11,3	0	950.464,00	0,00	0,00	Plataforma	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	Contratista
X3,4,12,1	0	98.222,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	C.A.	Planta 1	Propios
X3,4,12,2	0	117.631,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	C.A.	Planta 1	Alquilados
X3,4,12,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Plataforma	MP2 BB	C.A.	Planta 1	Contratista
X3,5,12,1	15	98.222,00	480,00	1.473.330,00	Plataforma	MP3 BB	C.A.	Planta 1	Propios
X3,5,12,2	0	117.631,00	0,00	0,00	Plataforma	MP3 BB	C.A.	Planta 1	Alquilados
X3,5,12,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Plataforma	MP3 BB	C.A.	Planta 1	Contratista
X3,7,1,1	0	304.855,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 1	Bogotá	Propios
X3,7,1,2	0	331.687,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 1	Bogotá	Alquilados
X3,7,1,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 1	Bogotá	Contratista
X3,7,2,1	5	249.809,00	160,00	1.249.045,00	Plataforma	PT1	Planta 1	C.A.	Propios
X3,7,2,2	0	274.617,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 1	C.A.	Alquilados
X3,7,2,3	0	1.093.031,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 1	C.A.	Contratista
X3,7,4,1	10	99.897,00	320,00	998.970,00	Plataforma	PT1	Planta 2	Bogotá	Propios
X3,7,4,2	0	124.991,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 2	Bogotá	Alquilados
X3,7,4,3	0	416.000,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 2	Bogotá	Contratista
X3,7,5,1	0	155.235,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 2	C.A.	Propios
X3,7,5,2	0	180.707,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 2	C.A.	Alquilados
X3,7,5,3	0	416.000,00	0,00	0,00	Plataforma	PT1	Planta 2	C.A.	Contratista

**Figura 13** C.A., contenedor tipo plataforma (vacío)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X3,9,16,1	0	156.648,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	C.A.	Proveedor C	Propios
X3,9,16,2	0	189.204,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	C.A.	Proveedor C	Alquilados
X3,9,17,1	10	29.999,00	N/A	299.990,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	C.A.	Propios
X3,9,17,2	0	48.955,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	C.A.	Alquilados
X3,9,18,1	0	100.412,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	Planta 1	Propios
X3,9,18,2	0	123.805,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	Planta 1	Alquilados
X3,9,19,1	0	50.204,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	Planta 2	Propios
X3,9,19,2	0	68.949,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	Planta 2	Alquilados
X3,9,22,1	0	147.788,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	Proveedor C	Propios
X3,9,22,2	0	177.679,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Bogotá	Proveedor C	Alquilados
X3,9,25,1	0	270.561,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Planta 1	Proveedor C	Propios
X3,9,25,2	0	314.993,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Planta 1	Proveedor C	Alquilados
X3,9,28,1	32	97.842,00	N/A	3.130.944,00	Plataforma	Vacío	Planta 2	Proveedor C	Propios
X3,9,28,2	0	121.003,00	N/A	0,00	Plataforma	Vacío	Planta 2	Proveedor C	Alquilados

**Figura 14** C.A., contenedor tipo multipropósito (materias primas a granel)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X4,1,6,1	0	945.755,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	Propios
X4,1,6,2	0	1.003.772,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	Alquilados
X4,1,6,3	0	1.650.734,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor A	Planta 1	Contratista
X4,1,7,1	0	983.880,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	Propios
X4,1,7,2	0	1.030.630,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	Alquilados
X4,1,7,3	0	1.650.734,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor B	Planta 1	Contratista
X4,2,8,1	0	1.023.190,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,2,8,2	0	1.074.190,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,2,8,3	0	1.650.734,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,3,8,1	0	1.023.190,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,3,8,2	0	1.074.190,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,3,8,3	0	1.650.734,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,1,9,1	49	437.614,00	1.666,00	21.443.086,00	Multipropósito	MP1	Proveedor A	C.A.	Propios
X4,1,9,2	0	477.060,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor A	C.A.	Alquilados
X4,1,9,3	0	1.009.868,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor A	C.A.	Contratista
X4,1,10,1	0	454.750,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor B	C.A.	Propios
X4,1,10,2	0	495.130,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor B	C.A.	Alquilados
X4,1,10,3	0	1.009.868,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	Proveedor B	C.A.	Contratista
X4,2,11,1	19	392.060,00	646,00	7.449.140,00	Multipropósito	MP2	Proveedor C	C.A.	Propios
X4,2,11,2	0	419.690,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X4,2,11,3	0	1.009.868,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2	Proveedor C	C.A.	Contratista
X4,3,11,1	16	392.060,00	544,00	6.272.960,00	Multipropósito	MP3	Proveedor C	C.A.	Propios
X4,3,11,2	0	419.690,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X4,3,11,3	0	1.009.868,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3	Proveedor C	C.A.	Contratista
X4,1,12,1	33	84.903,00	1.122,00	2.801.799,00	Multipropósito	MP1	C.A.	Planta 1	Propios
X4,1,12,2	0	106.250,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	C.A.	Planta 1	Alquilados
X4,1,12,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP1	C.A.	Planta 1	Contratista
X4,2,12,1	19	84.903,00	646,00	1.613.157,00	Multipropósito	MP2	C.A.	Planta 1	Propios
X4,2,12,2	0	106.250,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2	C.A.	Planta 1	Alquilados
X4,2,12,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2	C.A.	Planta 1	Contratista
X4,3,12,1	16	84.903,00	544,00	1.358.448,00	Multipropósito	MP3	C.A.	Planta 1	Propios
X4,3,12,2	0	106.250,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3	C.A.	Planta 1	Alquilados
X4,3,12,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3	C.A.	Planta 1	Contratista

**Figura 15** C.A., contenedor tipo multipropósito ( materias primas en big bags)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X4,4,8,1	0	1.032.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,4,8,2	0	1.083.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,4,8,3	0	1.650.734,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,5,8,1	0	1.032.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Propios
X4,5,8,2	0	1.083.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Alquilados
X4,5,8,3	0	1.650.734,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	Planta 1	Contratista
X4,4,11,1	0	401.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	Propios
X4,4,11,2	0	428.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X4,4,11,3	0	1.009.868,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	Proveedor C	C.A.	Contratista
X4,5,11,1	0	401.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	Propios
X4,5,11,2	0	428.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	Alquilados
X4,5,11,3	0	1.009.868,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	Proveedor C	C.A.	Contratista
X4,4,12,1	16	93.894,00	544,00	1.502.304,00	Multipropósito	MP2 BB	C.A.	Planta 1	Propios
X4,4,12,2	0	106.250,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	C.A.	Planta 1	Alquilados
X4,4,12,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP2 BB	C.A.	Planta 1	Contratista
X4,5,12,1	0	93.894,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	C.A.	Planta 1	Propios
X4,5,12,2	0	106.250,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	C.A.	Planta 1	Alquilados
X4,5,12,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	MP3 BB	C.A.	Planta 1	Contratista

**Figura 16 C.A., contenedor tipo multipropósito, (productos en proceso y productos terminados)**

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X4,6,2,1	0	265.630,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	Planta 1	C.A.	Propios
X4,6,2,2	0	292.190,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	Planta 1	C.A.	Alquilados
X4,6,2,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	Planta 1	C.A.	Contratista
X4,6,3,1	0	423.402,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	Propios
X4,6,3,2	0	439.880,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	Alquilados
X4,6,3,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	Planta 1	Planta 2	Contratista
X4,6,13,1	0	122.190,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	C.A.	Planta 2	Propios
X4,6,13,2	0	144.500,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	C.A.	Planta 2	Alquilados
X4,6,13,3	0	442.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	PI	C.A.	Planta 2	Contratista
X4,7,1,1	4	324.060,00	136,00	1.296.240,00	Multipropósito	PT1	Planta 1	Bogotá	Propios
X4,7,1,2	0	352.750,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 1	Bogotá	Alquilados
X4,7,1,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 1	Bogotá	Contratista
X4,7,2,1	64	265.630,00	2.176,00	17.000.320,00	Multipropósito	PT1	Planta 1	C.A.	Propios
X4,7,2,2	0	292.190,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 1	C.A.	Alquilados
X4,7,2,3	0	1.161.372,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 1	C.A.	Contratista
X4,7,4,1	16	100.940,00	544,00	1.615.040,00	Multipropósito	PT1	Planta 2	Bogotá	Propios
X4,7,4,2	0	126.440,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 2	Bogotá	Alquilados
X4,7,4,3	0	442.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 2	Bogotá	Contratista
X4,7,5,1	0	164.690,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 2	C.A.	Propios
X4,7,5,2	0	191.250,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 2	C.A.	Alquilados
X4,7,5,3	0	442.000,00	0,00	0,00	Multipropósito	PT1	Planta 2	C.A.	Contratista

**Figura 17** C.A., contenedor tipo multipropósito (vacío)

Vble	Sln. (Viajes)	Costo Flete (\$/viaje)	Toneladas	Contribución a la F.O.	Contenedor	Mercancía	Origen	Destino	Equipos de Transporte
X4,9,5,1	0	58.763,00	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	C.A.	Propios
X4,9,5,2	0	89.398	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	C.A.	Alquilados
X4,9,14,1	49	145.581,70	N/A	7.133.503,30	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor A	Propios
X4,9,14,2	0	169.534	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor A	Alquilados
X4,9,15,1	0	207.410,50	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor A	Propios
X4,9,15,2	0	53.851	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor B	Alquilados
X4,9,16,1	0	136.185,50	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor C	Propios
X4,9,16,2	0	75.844	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	C.A.	Proveedor C	Alquilados
X4,9,17,1	20	116.602,20	N/A	2.332.044,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	C.A.	Propios
X4,9,17,2	0	152.116	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	C.A.	Alquilados
X4,9,18,1	0	99.231,00	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 1	Propios
X4,9,18,2	0	123.805	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 1	Alquilados
X4,9,19,1	0	50.348	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 2	Propios
X4,9,19,2	0	68.949	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Planta 2	Alquilados
X4,9,20,1	0	99.937	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor A	Propios
X4,9,20,2	0	108.601	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor A	Alquilados
X4,9,21,1	0	133.103	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor B	Propios
X4,9,21,2	0	174.226	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor B	Alquilados
X4,9,22,1	0	147.788	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor C	Propios
X4,9,22,2	0	177.679	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Bogotá	Proveedor C	Alquilados
X4,9,23,1	0	198.113	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor A	Propios
X4,9,23,2	0	229.364	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor A	Alquilados
X4,9,24,1	0	223.852	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor B	Propios
X4,9,24,2	0	261.756	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor B	Alquilados
X4,9,25,1	35	269.554	N/A	9.434.390,00	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor C	Propios
X4,9,25,2	0	314.493	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 1	Proveedor C	Alquilados
X4,9,26,1	0	76.831,00	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor A	Propios
X4,9,26,2	0	90.852	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor A	Alquilados
X4,9,27,1	0	81.239,00	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor B	Propios
X4,9,27,2	0	98.728	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor B	Alquilados
X4,9,28,1	0	98.211,00	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor C	Propios
X4,9,28,2	0	121.003	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Proveedor C	Alquilados
X4,9,29,1	0	137.659,00	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Planta 1	Propios
X4,9,29,2	0	158.387	N/A	0,00	Multipropósito	Vacío	Planta 2	Planta 1	Alquilados

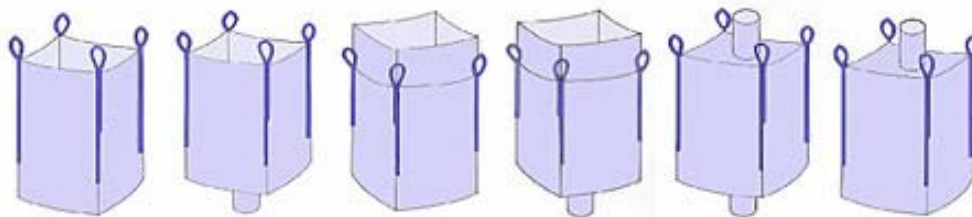
## ANEXO F: BIG BAGS

Los big bags son contenedores flexibles contruidos con tejidos de polipropileno de alta resistencia y diseñados para contener cargas de quinientos (500), mil (1.000), mil quinientos (1.500) ó hasta dos mil (2.000) toneladas.

La estructura de los big bags permite el embalaje y almacenamiento de diferentes materiales, tales como fertilizantes, químicos, alimentos de animales, cemento, minerales, semillas, plásticos, y en general, materiales sólidos de baja granulometría.

Los diseños básicos de son los siguientes:

**Figura 18** Diseños básicos de los big bags<sup>18</sup>



<sup>18</sup> Fuente: <http://www.contebil.com/productos/productos.htm>

De izquierda a derecha: abierto-plano, abierto-tubo, camisa-plano, camisa-tubo, tubo-tubo y tubo-plano.

El peso que debe soportar el big bag, y el factor de seguridad exigido (5.1,6.1 ó 8.1), así como la densidad del producto, determinan el gramaje del tejido y las costuras del big bag.

El proceso de manipulación de los big bags se divide en las siguientes actividades:

- Llenado
- Vaciado
- Cargue
- Descargue
- Almacenamiento

Los big bags son preferiblemente llenados con la base del saco soportado por el suelo o una paleta, y el cuerpo del saco soportado por el dispositivo de levantamiento.

Los big bags son preferiblemente vaciados por gravedad, pero también pueden ser vaciados por succión. Cuando se vacía por gravedad mediante una válvula de descarga en el fondo, la tasa de descarga puede ser controlada por medio de una salida restrictiva.

El levantamiento de los big bags para efectos de cargue o descargue, debe hacerse mediante una montacargas, asegurando que los brazos estén espaciados correctamente, asegurando que sus bordes estén redondeados, o que tengan un recubrimiento de protección. Los big bags deben ser levantados o bajados lentamente.

Ninguna persona debe estar por debajo de un big bag, en el momento que lo están descargando. Una válvula de descarga en el fondo puede ser abierta solamente cuando el big bag está suspendido sobre un soporte de seguridad que prevenga heridas al operador en el evento de una falla en el dispositivo de levantamiento.

El almacenamiento de los big bags demanda el apilamiento de éstos, formando una estructura estable. Cuando se a posible, el apilado debe ser formado contar, al menos, dos (2) paredes de soporte, preferiblemente tres (3), para alcanzar el máximo de estabilidad. Generalmente, a mayor altura del apilamiento, mayor número de paredes de retención requeridas.

En aquellos , lugares, donde las limitaciones del punto de almacenamiento exigen que el apilamiento sea libre, es necesario emplear el método de la pirámide.

Si los big bags están almacenados a la intemperie, es necesario prestarle atención a la cubierta superior, asegurándose de que esté propiamente amarrada. Los big bags deben cubrirse con un material que los proteja de los rayos UV y del agua. También es necesario asegurarse de que los big bags no están sumergidos en agua.

La vida útil de un big bag depende de dos (2) factores fundamentales: el diseño y el manejo que los usuarios den al empaque. El diseño de un big bag debe ser acorde con el manejo del mismo, para poder evaluar la incidencia de los elementos que afectarán al saco y definir el empaque más idóneo. En cuanto al manejo de los big bags, el usuario debe respetar las normas de uso recomendadas por el fabricante, debido a que éste es un factor determinante para que este empaque tenga una mayor vida útil.

Para mayor información, consultar las siguientes páginas web:

<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/ganaderos/articulosrurales/vasesestextiles/big-bag.htm>

<http://www.bolsarpil.com.ar/castellano/bigbags.htm>

<http://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=1631>

5

<http://www.kingpack.com/default.htm>

<http://www.abc-pack.com/default.php/name/Ensacadoras/cPath/44>

<http://www.raferingenieri.com/productos/bigbag.htm>

<http://www.contebil.com/productos/productos.htm>