

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

EXAMEN COMPLEXIVO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:

**“MAGISTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y
GESTIÓN LOGÍSTICA”**

TEMA:

OPTIMIZACIÓN DE COSTES Y TIEMPOS DE FLOTAS DE
TRANSPORTE TERRESTRE

AUTOR:

ING. ANDRÉS FERNANDO IÑIGUEZ SALAS

Quito - Ecuador

AÑO 2016

DEDICATORIA

Dedico el desarrollo de este examen complejo a mi esposa Gabriela y mis hijos Camila y Diego Andrés, quienes son mi constante aliento para salir adelante con todo reto que se me presente.

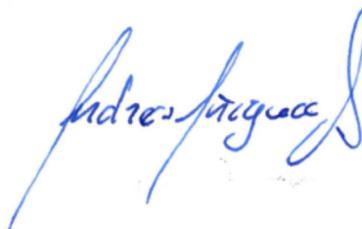
AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi esposa e hijos, pilares fundamentales para poder culminar esta nueva etapa de mi vida.

Agradezco también a mis padres ya que por su apoyo y constancia hicieron esto posible.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este proyecto de examen complejo, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Andrés Iñiguez Salas

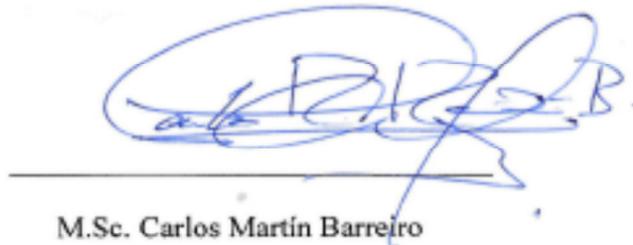
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A large, stylized handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop on the left and a long horizontal stroke extending to the right.

Francisco Vera Alcivar, P.h.D.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

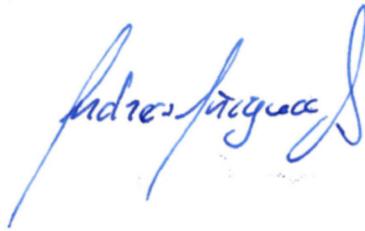
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos AH' with a horizontal line underneath.

M.Sc. Carlos Anibal Suárez Hernández
DIRECTOR DEL EXAMEN
COMPLEXIVO

A complex, multi-looped handwritten signature in blue ink, with a horizontal line underneath.

M.Sc. Carlos Martín Barreiro
DELEGADO

AUTOR PROYECTO DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pedro Figueira', is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

AUTOR

ÍNDICE GENERAL

INDICE GENERAL	VI
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VII
CAPITULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.3 CONCEPTOS BÁSICOS.....	2
CAPITULO II	4
2.1 RESOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS	4
2.1.1 EJERCICIO 1:.....	4
2.1.2 EJERCICIO 2:.....	5
2.1.3 EJERCICIO 3:.....	6
CAPITULO III.....	11
3.1 CONCLUSIONES	11
3.2 RECOMENDACIONES	11
REFERENCIAS.....	12
ANEXOS	13
ANEXO 01.....	14
ANEXO 02.....	16
ANEXO 03.....	18
ANEXO 04.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01 – Asignación de buses a rutas	5
Tabla 02 – Conexiones posibles y costos.....	7
Tabla 03 – Ventanas de tiempo para entrega	8

Tabla 04 – Resultados ventanas de tiempo 8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Flujo de unidades de transporte óptimo 4
Figura 02 – Resultado ejercicio 1 en GAMS 5
Figura 03 – Asignación de buses a rutas Ejercicio 2..... 6
Figura 04 – Extracto resultados en GAMS Ejercicio 3 9

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El examen complejo que se desarrolla a continuación, busca optimizar tanto costes como tiempos en el transporte terrestre mediante la formulación de modelos matemáticos. Para esta formulación y resolución, se pide utilizar el sistema informático GAMS, abreviatura de sus siglas en inglés General Algebraic Modeling System.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta resolución es la implementación de un modelo matemático adecuado para cada situación o problema planteado, buscando la optimización de la unidades de transporte (sean estos camiones, buses o cualquier tipo de unidad de transporte a ser utilizada) o tiempo óptimo de funcionamiento según requerimiento de los puntos de destino, con el único objetivo de reducir el costo global de operación al mínimo posible.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como resultado de la implementación de estos modelos, se busca conseguir los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Introducción a la teoría de utilización de ventanas de tiempo, como implementar en el sistema GAMS, sin descuidar la optimización de costos de transporte.
- 2.- Saber cómo interpretar todas las posibles restricciones que se presentan en la vida real, como son: capacidades limitadas, horarios, costos por operación, prohibiciones

de viajes vacíos, utilización de centros de consolidación, no generar sub ciclos, etc., para poder plantear el modelo de forma correcta y se considere cada una de las posibles situaciones.

1.3 CONCEPTOS BÁSICOS

Logística

Logística puede definirse como la ciencia que estudia cómo las mercancías, las personas o la información superan el tiempo y la distancia de forma eficiente.¹

Transporte

En un sentido amplio, definiremos el transporte de mercancías como toda actividad a trasladar los productos desde un punto de origen hasta un lugar de destino.²

Costes

El costo es un sacrificio que debe realizarse con objeto de hacer o adquirir algo. La naturaleza del sacrificio puede ser tangible o intangible, objetiva o subjetiva y puede adoptar una o más de la multiplicidad de formas tales como dinero, bienes, tiempo de ocio, ingreso, seguridad, prestigio, poder o placer.³

Costes logísticos

Es la suma de los costos ocultos involucrados cuando se mueven y almacenan materiales y productos desde los proveedores hasta los clientes. En estos se incluyen:

- Costos del aprovisionamiento (compras)
- Costos de almacenamientos
- Costos de Inventarios

¹ ROBUSTE, FRANCESC. Logística del transporte. Edición UPC 2005. p 13. ISBN 84-8301-773-3

² ANAYA, JULIO. El transporte de mercancías. ESIC Editorial. p 17. ISBN 978-84-7356-612-4

³ SPENCER, MILTON. Economía Contemporánea. Editorial Reverte. p 430. ISBN 84-291-2696-1.

- Costos del transporte interno
- Costos de la distribución de productos terminados
- Costos del personal involucrado en estas tareas, etc.

Por mencionar solo algunos de los principales elementos.

Estos costos ocultos que se generan durante el proceso logístico (proceso de mover y almacenar materiales y productos desde los proveedores hasta los clientes), están relacionados con la eficiencia y eficacia de dicho proceso (y su medida la productividad), la calidad, etc.⁴

⁴ GESTIOPOLIS, [base de datos], Costos logísticos: qué son, cuáles son y cómo minimizarlos.

CAPITULO II

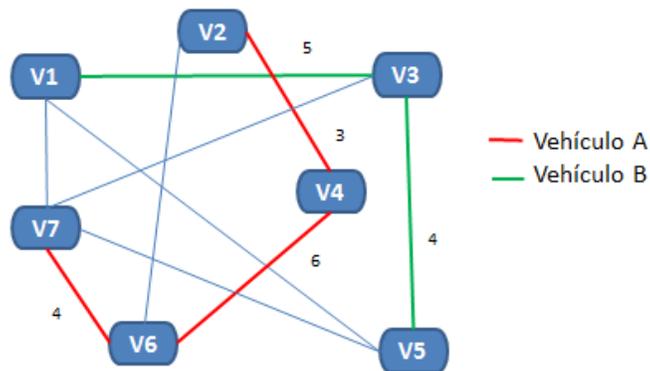
2.1 RESOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS

Los ejercicios que se detallan en el Anexo 01 del presente desarrollo, son los que se desarrollaran a continuación:

2.1.1 EJERCICIO 1:

Para la resolución de este ejercicio, como se indica en la introducción, se utilizó el sistema informático GAMS, donde el modelo matemático utilizado para calcular el plan de rutas óptimo de los dos tipos de vehículos, minimizando costos de transporte totales, claro está considerando las restricciones de uso de los vehículos A y B para las rutas V3 y V4, nos da como resultado el siguiente flujo (Figura 01) que las unidades de transporte deben seguir:

Figura 01 – Flujo de unidades de transporte óptimo



Elaboración: Andrés Iñiguez S.

Con este flujo estamos asegurando una optimización del costo total, llegando a 82.00, por el uso de los dos camiones, que segregado seria: Camión A: 43.00 y Camión B: 39.00.

En la Figura 02 se muestra el resultado del sistema GAMS:

Figura 02 – Resultado ejercicio 1 en GAMS

```

EXAMEN COMPLEXIVO - TRANSPORTE / EJERCICIO 1 / ANDRES INIGUEZ
E x e c u t i o n

----      82 VARIABLE z.L              =      82.000  funcion obojtivo
----      82 VARIABLE a.L  tomar el vehiculo a para ir del nodo i al nodo j  en e
              l camion k
              a          b
o.1              1.000
o.2      1.000
1.3              1.000
2.4      1.000
3.5              1.000
4.6      1.000
5.o              1.000
6.7      1.000
7.o      1.000
    
```

Elaboración: Andrés Iñiguez S. Fuente: GAMS

En el Anexo 02 se incluye el texto del desarrollo que se plantea en GAMS.

2.1.2 EJERCICIO 2:

Para la resolución de este ejercicio se utilizó de igual manera el sistema GAMS, donde el modelo utilizado para cubrir todas las rutas de los buses, considerando siempre la minimización del costo de traslado de las unidades, y considerando las restricciones en ciertos horarios para ciertas unidades y también considerando la suposición indicada que hay suficientes unidades de cada tipo para cubrir las rutas, da como resultado el siguiente ruteo o asignación de rutas, que se indica en la Tabla 01:

Tabla 01 – Asignación de buses a rutas

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
	07H00	07H00	09H00	09H00	11H00	11H00	13H00
Bus	A - B	B - A	A - B	B - A	A - B	B - A	A - B
T1	x					x	
T2			x	x	x		
T3		x					x

Elaboración: Andrés Iñiguez S. Fuente: GAMS

El costo que esta operación demandaría es de 47.00, por el uso de las 3 unidades o tipos de buses disponibles, que se lo puede observar en el siguiente extracto del sistema GAMS en la Figura 03:

Figura 03 – Asignación de buses a rutas Ejercicio 2

```

EXAMEN COMPLEXIVO - TRANSPORTE / ANDRES INIGUEZ
Execution
----- 110 VARIABLE x.L hacer de i antes que j por el vehiculo k
          t1          t2          t3
o .v1      1.000
o .v5              1.000
o .v7              1.000
v1.v6      1.000
v2.o              1.000
v3.o              1.000
v4.v3              1.000
v5.v4              1.000
v6.o      1.000
v7.v2              1.000

----- 110 VARIABLE z.L = 47.000 funcion objetivo
----- 110 VARIABLE th.L hora a la que llego a i
    
```

Elaboración: Andrés Iñiguez S. Fuente: GAMS

De igual manera se muestra en el Anexo 03 el texto de desarrollo en el sistema GAMS.

2.1.3 EJERCICIO 3:

Para demostrar el algoritmo de ahorro de costos, con la variante de considerar ventanas de tiempo para la entrega de carga en camiones, se ha considerado mejor realizarlo mediante la aplicación a un ejercicio que se lo detalla a continuación, el cual está resuelto en el sistema GAMS:

Existen 8 puntos de venta para una empresa que tiene 2 bodegas para cubrir su demanda, de donde salen los vehículos con esta restricción: si un punto de venta es atendido por un vehículo de una bodega, ya no podrá ser atendido por el vehículo de la otra bodega.

OPTIMIZACIÓN DE COSTES Y TIEMPOS DE FLOTAS DE TRANSPORTE TERRESTRE

En la Tabla 02 que se muestra a continuación, está el costo de traslado de los camiones y las posibles conexiones entre los puntos de venta y bodegas, siendo que si no se encuentra en esta Tabla, no es posible el transporte

Tabla 02 – Conexiones posibles y costos

Origen	Destino	Tipo de Vehículo	Costo
v1	d1	d1	7,00
v1	d2	d2	5,00
v2	v1	d1	5,00
v2	v1	d2	4,00
v2	v3	d1	2,00
v2	v3	d2	3,00
v3	d1	d1	5,00
v3	v2	d2	7,00
v4	v5	d2	4,00
v4	v1	d2	5,00
v5	d2	d2	5,00
v6	v5	d2	4,00
v6	v3	d2	7,00
v7	v3	d1	3,00
v7	v8	d1	5,00
v8	v1	d1	9,00
v8	d1	d1	2,00
d1	v2	d1	4,00
d1	v7	d1	2,00
d2	v4	d2	3,00
d2	v2	d2	5,00
d2	v6	d2	3,00

Elaboración: Andrés Iñiguez S.

Cada punto de venta tiene una ventana de tiempo en la que puede el camión entregar la carga como se muestra en la Tabla 03:

Tabla 03 – Ventanas de tiempo para entrega

PV	Hora Inicio	Hora final
V1	11h00	13h00
V2	08h00	09h00
V3	10H00	11H00
V4	06H00	07H00
V5	10H00	12H00
V6	06H00	08H00
V7	07H00	08H00
V8	13H00	15H00

Elaboración: Andrés Iñiguez S.

Utilizar la bodega también tiene un costo fijo, que es de Bodega1: 18 y Bodega 2: 15

Considerar que es una flota de camiones iguales y existe número suficiente de unidades. Calcular el costo mínimo considerando las ventanas de tiempo y así abastecer a todos los puntos de venta.

Los resultados los podemos observar en el siguiente extracto del sistema GAMS en la Figura 04, donde se abastece a los 8 diferentes puntos de venta desde las 2 bodegas de la empresa, pero aquí lo importante es resaltar que el modelo respeta los horarios de llegada, quedando de la siguiente manera (Tabla 04):

Tabla 04 – Resultados ventanas de tiempo

Punto de Venta	Franja posible de llegada	Hora de llega en modelo
V1	11H00-13H00	13H00
V2	08H00-09H00	08H00
V3	10H00-11H00	11H00
V4	06H00-07H00	06H00
V5	10H00-12H00	12H00
V6	06H00-08H00	06H00
V7	07H00-08H00	07H00
V8	13H00-15H00	13H00

Elaboración: Andrés Iñiguez S.

Adicional como modelo de optimización de costos de transporte, el resultado es de 111.00, como se muestra en la Figura 04:

Figura 04 – Extracto resultados en GAMS Ejercicio 3

```

EXAMEN COMPLEXIVO - TRANSPORTE / EJERICICIO 3 / ANDRES INIGUEZ
Execution

---- 115 VARIABLE t.L tiempo de llegada al cliente i

v1 13.000,    v2 8.000,    v3 11.000,    v4 6.000,    v5 12.000,    v6 6.000
v7 7.000,    v8 13.000

---- 115 VARIABLE X.L si el arco i a j es usado en la ruta d

          d1          d2

d1.v2      1.000
d1.v7      1.000
d2.v4              1.000
d2.v6              1.000
v1.d2              1.000
v2.v3      1.000
v3.d1      1.000
v4.v1              1.000
v5.d2              1.000
v6.v5              1.000
v7.v8      1.000
v8.d1      1.000

---- 115 VARIABLE z.L = 111.000 objetivo
    
```

Elaboración: Andrés Iñiguez S. Fuente: GAMS

CAPITULO III

3.1 CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se encontró en el desarrollo de este examen complejo son las siguientes:

- No siempre ahorro significa asumir que se debe utilizar la unidad de transporte con menor costo fijo, la resolución vía sistemas como GAMS, nos da un mayor abanico de soluciones, donde no necesariamente la más barata a simple vista es la mejor.
- Las variables a considerar en la vida real, son de vital importancia para la correcta asignación de rutas, estas que unas pocas se vio en estos ejercicios, pueden ir desde capacidades de los vehículos, temperaturas, horarios de recepción, horarios de restricción de circulación, etc., lo cual puede hacer que la respuesta optima cambie considerablemente, y esto afecte a la satisfacción de los clientes.

3.2 RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones viables están:

- Siempre se tienen que interpretar de forma correcta todas las restricciones que se plantean en los diferentes problemas de transporte, sea para optimizar costos o tiempos de operación.
- Cuando se realiza este tipo de resoluciones, en sistemas como GAMS, siempre es recomendable colocar la mayor parte de los datos como tablas o parámetros, con el afán de si llegase a cambiar algún dato, es más fácil realizar un solo cambio en la raíz de datos y no buscar en todas las ecuaciones o restricciones.

REFERENCIAS

- ANAYA, J. (2009) El transporte de mercancías: enfoque logístico y de la distribución. Editorial ESIC. *p* 17. ISBN 978-84-7356-612-4
- ROBUSTE, F. (2005). Logística del transporte. Editorial Universidad Politécnica de Catalunya. *p* 13. ISBN 84-8301-773-3
- SPENCER, M. (1993). Economía Contemporánea. Editorial Reverte. *p* 430. ISBN 84-291-2696-1.
- GESTIOPOLIS, [base de datos], Costos logísticos: qué son, cuáles son y cómo minimizarlos. Se encuentra en: < <http://www.gestiopolis.com/costos-logisticos-que-son-cuales-son-y-como-minimizarlos/> >

ANEXOS

ANEXO 01



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
MAESTRÍA EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA**



EXAMEN COMPLEXIVO - TRANSPORTE

04 de Enero del 2016

COMPROMISO DE HONOR

Yo, al firmar este compromiso, reconozco que el presente examen está diseñado para ser resuelto de manera individual, por lo que solo puedo comunicarme con la persona responsable de la recepción del examen. Los temas debo desarrollarlos de manera ordenada.

Firmo al pie del presente compromiso, como constancia de haber leído y aceptar la declaración anterior.

Firma _____ NÚMERO DE CÉDULA:

- 1) Una empresa de transporte debe cumplir con 7 viajes pre programados V1, V2,... V7 y dispone para ello de una flota heterogénea de dos tipos de vehículos A y B. La siguiente tabla indica qué viajes pueden ser cubiertos con qué vehículos, así como los costos de interconexión entre viajes. El valor en la fila Vi y la columna Vj corresponde al costo de interconexión al realizar el viaje Vj después del viaje Vi. Una entrada vacía significa que no es posible realizar el viaje Vj después del viaje Vi.

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Vehículos
V1			5		4		4	A,B
V2				3		6		A,B
V3					4		5	B
V4						6		A
V5							5	A,B
V6							4	A,B
V7								A,B

El costo de una ruta es igual a la suma de los costos de interconexión de la misma, más un costo fijo de 10 unidades monetarias para los vehículos tipo A y 15 unidades monetarias para los vehículos tipo B. Formular un modelo de programación entera estableciendo correctamente los conjuntos, las variables de decisión, etc., para encontrar un plan de rutas de costo mínimo. Asumir que el tamaño de la flota es suficientemente grande para no representar una restricción en el problema. Implementar el modelo en GAMS.

- 2) En la siguiente tabla se presentan siete viajes programados para una línea de transporte que opera entre dos terminales A y B. Cada viaje debe realizarse a una hora determinada y tiene una duración

OPTIMIZACIÓN DE COSTES Y TIEMPOS DE FLOTAS DE TRANSPORTE TERRESTRE

de dos horas (en cualquier sentido). La flota que opera la línea contiene tres tipos de buses T1, T2 y T3 que difieren entre sí por su capacidad. Debido a que la demanda cambia a lo largo del día, ciertos viajes programados sólo pueden ser atendidos con ciertos tipos de buses, tal como se indica en la tabla.

Viajes	Hora de Salida	Sentido	Vehículos Admisibles
V_1	07:00	$A \rightarrow B$	T_1
V_2	07:00	$B \rightarrow A$	T_3
V_3	09:00	$A \rightarrow B$	T_1, T_2, T_3
V_4	09:00	$B \rightarrow A$	T_1, T_2, T_3
V_5	11:00	$A \rightarrow B$	T_2, T_3
V_6	11:00	$B \rightarrow A$	T_1, T_2
V_7	13:00	$A \rightarrow B$	T_3

Se asume que hay suficientes buses de cada tipo como para cubrir todos los viajes, se prohíben los viajes vacíos, lo que significa que ningún bus puede cubrir consecutivamente dos viajes en el mismo sentido. El uso de un bus de tipo T_i está asociado a un costo fijo igual a $C_1 = 10, C_2 = 5, C_3 = 6$. No se consideran costos de desplazamientos. Formular un modelo en GAMS que permita determinar una asignación de buses para cubrir todos los viajes al menor costo posible.

- 3) Implementar en el lenguaje de su preferencia el algoritmo de ahorros, con la modificación para que incluya restricciones asociadas a ventanas de tiempo(Sección 3.1 HeurísticasRuteoVehiculos.pdf)

Puntaje: Tema 1: 30 puntos, **Tema2:** 35 puntos, **Tema 3:** 35 puntos.

ANEXO 02

set

i origen /o,1*7/

k auto /a,b/

alias(i,j);

table

c(i,j,k) costos de ruta en conexión

	o.a*b	1.a*b	2.a*b	3.b	4.a	5.a*b	6.a*b	7.a*b
o	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	100	100	5	100	5	100	4
2	0	100	100	100	3	100	6	100
3	0	100	100	100	100	4	100	5
4	0	100	100	100	100	100	6	100
5	0	100	100	100	100	100	100	5
6	0	100	100	100	100	100	100	4
7	0	100	100	100	100	100	100	100

;

parameter

costo(k) auto a tomar

/

a 10

b 15/

;

variable

z funcion obeitivo ;

binary variable

a(i,j,k) tomar el vehiculo a para ir del nodo i al nodo j en el camion k

;

equation

funcion funcion objetivo

res1(j) restriccion de entrada

res2(i) restriccion de salida

res3a restriccion de flujo

res4 restriccion de autos salida del origen por tipo de auto

res4a eliminacion de subciclos

res5 conservacion de flujo en el origen

rest;

funcion.. z=e= sum((i,j,k)\$ (ord(i)>1 and ord(j)>1), (c(i,j,k)+costo(k))*a(i,j,k));

OPTIMIZACIÓN DE COSTES Y TIEMPOS DE FLOTAS DE TRANSPORTE TERRESTRE

```
res1(j)$Ord(j)>1).. sum((i,k),a(i,j,k))=g=1;  
res2(i)$Ord(i)>1).. sum((j,k),a(i,j,k))=g=1;  
  
res3a(k,j).. sum((i),a(i,j,k))-sum((i),a(j,i,k))=e=0;  
res4(k).. sum((j),a('o',j,k))=l=1;  
res5.. sum((j,k),a('o',j,k))- sum((j,k),a(j,'o',k))=e=0;  
*eliminacion de subciclos de 2  
res4a(i,j,k)$(not sameas(i,j) and ord(i)>1 and ord(j)>1).. a(i,j,k)+a(j,i,k)=l=1;  
  
rest(j)$Ord(j)=4).. sum(i,a(i,j,'b'))=g=1;  
  
model transporte /all/;  
solve transporte using mip minimizing z;  
display z.l, a.l;
```

ANEXO 03

sets

i viajes /o,v1*v7/
 ter terminales /A,B/
 k buses /t1*t3/
 alias(i,j)

Parameters

Ct(k) costo de utilizar el bus k

/
 t1 10
 t2 5
 t3 6
 /

tiempo(i) tiempo para salir al viaje i

/
 v1 7
 v2 7
 v3 9
 v4 9
 v5 11
 v6 11
 v7 13
 /

scalar

tv tiempo de viaje /2/

table

v(i,k) viajes permitidos por el bus k

	t1	t2	t3
o	1	1	1
v1	1	0	0
v2	0	0	1
v3	1	1	1
v4	1	1	1
v5	0	1	1
v6	1	1	0
v7	0	0	1

;

table

sec(i,j) si se puede ir del viaje i al j

OPTIMIZACIÓN DE COSTES Y TIEMPOS DE FLOTAS DE TRANSPORTE TERRESTRE

	o	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7
o	0	1	1	1	1	1	1	1
v1	1	0	1	0	1	0	1	0
v2	1	1	0	1	0	1	0	1
v3	1	0	1	0	1	0	1	0
v4	1	1	0	1	0	1	0	1
v5	1	0	1	0	1	0	1	0
v6	1	1	0	1	0	1	0	1
v7	1	0	1	0	1	0	1	0

;

variable

z funcion objetivo

binary variable

x(i,j,k) hacer de i antes que j por el vehiculo k

positive variable

th(i) hora a la que llego a i

equation

obj

res1

res1a

res2 flujo

res3 tiempo

res5

res6 viajes permitidos

res7 subciclos

res8

;

obj..z=e=(**sum**((i,j,k),x(i,j,k)*ct(k)))-(**sum**((k),ct(k)));

res1(i)\$(**Ord**(i)>1).. **sum**((j,k),x(i,j,k))=g=1 ;

res1a(i)\$(**Ord**(i)>1).. **sum**((j,k),x(j,i,k))=g=1 ;

res2(j,k).. **sum**((i),x(i,j,k))=e=**sum**((i),x(j,i,k));

res3(i)..th(i)=g=tiempo(i) ;

res5(i,j,k).. sec(i,j)=g=x(i,j,k);

res6(i,j,k).. v(i,k)=g=x(i,j,k);

res7(i,j,k)\$(**not** sameas(i,j) **and** **Ord**(j)>1).. x(i,j,k)+x(j,i,k)=l=1;

res8.. **sum**((j,k),x('o',j,k))=g=2;

model transporte /all/;

solve transporte using mip minimizing z;

display x.l,z.l,th.l

ANEXO 04**sets**

i nodos/d1,d2,v1*v8/

d(i) bodegas /d1,d2/

**subconjunto*

alias(i,j)

alias(d,depot)

parameters

costos(i,j,d) costo de ir desde i a j utilizando d

/

v1.d1.d1 7

v1.d2.d2 5

v2.v1.d1 5

v2.v1.d2 4

v2.v3.d1 2

v2.v3.d2 3

v3.d1.d1 5

v3.v2.d2 7

v4.v5.d2 4

v4.v1.d2 5

v5.d2.d2 5

v6.v5.d2 4

v6.v3.d2 7

v7.v3.d1 3

v7.v8.d1 5

v8.v1.d1 9

v8.d1.d1 2

d1.v2.d1 4

d1.v7.d1 2

d2.v4.d2 3

d2.v2.d2 5

d2.v6.d2 3

/

inferior(i) limite inferior del nodo i

/

v1 11,v2 8,v3 10,v4 6,v5 10,v6 6,v7 7,v8 13

/

superior(i) limite superior del nodo i

/

v1 13,v2 9,v3 11,v4 7,v5 12,v6 8,v7 8,v8 15

/

fijo(d) costo fijo del deposito

/d1 18 ,d2 15/;

variable

z objetivo

```

;
binary variable
X(i,j,d) si el arco i a j es usado en la carro d
;
positive variable
t(i) tiempo de llegada al cliente i
;
equations
obj
res1 salida
res2 flujo lo que entra es igual a lo que sale
res3 depositos
res4 ventana de tiempo superior
res5 ventana de tiempo inferior
res6 para linealizar
res7 para linealizar
;
obj..z=e= sum((i,j,d)$costos(i,j,d)),costos(i,j,d)*x(i,j,d))+sum((d,i)$costos(d,i,d)),fijo(d)*x(d,i,d));
res1(i)$ord(i)>2).. sum((d,j)$costos(i,j,d)), x(i,j,d))=e=1;
res2(i,d)$ord(i)>2).. sum(j$costos(j,i,d)),x(j,i,d))=e=sum(j$costos(i,j,d)),x(i,j,d));
res3(d,depot)$not sameas(d,depot)..
sum(i$costos(d,i,d)),x(d,i,depot))+sum(i$costos(i,d,d)),x(i,d,depot))=l=0 ;
res4(i)$ord(i)>2).. t(i)=l=superior(i);
res5(i)$ord(i)>2).. t(i)=g=inferior(i);
res6(i,j,d)$ord(i)>2 and ord(j)>2 and costos(i,j,d))..t(i)+costos(i,j,d)-t(j)=l=(1- x(i,j,d))*1000;
res7(d,i)$costos(d,i,d).. costos(d,i,d)-t(i)=l=(1-x(d,i,d))*1000 ;

model ventanatiempo /all/
solve ventanatiempo minimizing z using mip
display t,l,x,l,z,l;

```