



---

## **PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE VIAJES PARA UNA EMPRESA DE TRANSPORTE**

Aguirre, María Gabriela – Danert, Agustina Rocío – Seidan, Sofia Nair  
Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Tucumán  
*[gabyag1494@gmail.com](mailto:gabyag1494@gmail.com) - [agusdanert@gmail.com](mailto:agusdanert@gmail.com) - [seidansofia@gmail.com](mailto:seidansofia@gmail.com)*

### **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una mezcla óptima de viajes para un período de un mes que minimice los costos variables por viaje para una empresa de transporte que ofrece el servicio de traslado de alcohol anhidro. Los datos se recolectaron a través de entrevistas con los dueños y empleados de la organización bajo estudio, para así poder modelizar el problema.

Para realizar el trabajo de campo se utilizó la técnica matemática programación lineal continua, a través del complemento Solver presente en el software Excel.

A partir de la información obtenida se propondrán cursos de acción para la empresa y el desarrollo de un programa de viajes que permita una mejor toma de decisiones.

**Palabras Clave:** Programación lineal – Transporte – Costos – Mezcla óptima – Viajes



---

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
2.1 Preguntas de investigación	
3. ENFOQUE METODOLÓGICO	4
3.1 Objetivos	
3.2 Metodología y diseño de investigación	
3.3 Técnicas de recolección de datos	
3.4 Herramienta a utilizar	
4. MARCO TEÓRICO	5
5. DESARROLLO	7
5.1 Supuestos del modelo	
5.2 Desarrollo del modelo	
6. RESULTADOS	10
6.1 Solución con variables de decisión continuas	
6.2 Análisis de sensibilidad	
6.3 Programación lineal para planificación	
7. CONCLUSIONES	19
8. BIBLIOGRAFIA	19
9. APÉNDICE	20
9.1 Cálculo costos variables	
9.2 Cálculo planificación	
10. ANEXO	24



## 1. INTRODUCCIÓN

La organización bajo estudio es una empresa de transporte que cuenta con una flota de camiones cisterna que abastece principalmente de combustible a una estación de servicio, pero que además tiene asignados una cantidad de camiones con los cuales ofrece el servicio de traslado de alcohol anhidro desde ingenios azucareros en el norte del país hacia refinerías ubicadas en Buenos Aires.

El enfoque de este trabajo será en el servicio ofrecido de transporte de alcohol anhidro.

Los dueños actualmente desean obtener información acerca de la mezcla óptima de viajes de alcohol anhidro que minimicen los costos variables por circuito para poder mejorar la planificación de los viajes y así decidir cursos de acción que los lleve a una mejor toma de decisiones.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La organización es una empresa de transporte que ofrece el servicio de traslado de alcohol anhidro y cuenta con una flota de 13 (trece) camiones cisternas asignados para este tipo de servicio.

El alcohol anhidro es etanol obtenido a partir de la destilación de mostos frescos de la melaza de caña que luego es deshidratada. Se utiliza como una dependencia de la gasolina, es decir, como una manera de reducir el uso de combustibles fósiles. La adición de etanol anhidro a la gasolina ha reemplazado el uso de tetraetilo de plomo tóxico, un compuesto de plomo que ha tenido efectos negativos significativos sobre el medio ambiente.

El circuito del servicio inicia con la carga del alcohol anhidro en un ingenio azucarero y el trayecto finaliza con la descarga del alcohol anhidro en una refinería. Llamaremos *circuito* a cada uno de los diferentes viajes que puede realizar la empresa, desde un ingenio hasta una refinería.

Actualmente la gerencia no realiza una planificación previa de los viajes a realizar. El servicio que la empresa ofrece se ve afectado por esta falta de organización, por lo que, actualmente no se está cumpliendo con la demanda, situación que puede generar que los clientes no estén satisfechos, y en un futuro, afectar la imagen y la rentabilidad de la empresa.

El objetivo es determinar la mezcla óptima de viajes que debe realizar la empresa que minimicen los costos variables.

### 2.1 Preguntas de investigación

- a) ¿Cuáles son las restricciones que enfrenta la empresa?
- b) ¿Habrá diferencias significativas entre los circuitos en cuanto a los costos?
- c) ¿Cuáles de los circuitos son más adecuados para minimizar los costos?
- d) ¿Cuántos viajes semanales y mensuales debe realizar la empresa?



### **3. ENFOQUE METODOLÓGICO**

En esta sección se definen los objetivos, la metodología y diseño de investigación, las técnicas de recolección de datos y la herramienta a utilizar.

#### **3.1. Objetivos**

- Objetivo general:

Proponer un programa de viajes mediante la aplicación de un modelo de programación lineal de transporte para la empresa bajo estudio.

- Objetivos específicos:

1. Definir los circuitos que la empresa realiza y sus costos variables.
2. Aplicación modelo de programación lineal de transporte que determine la mezcla óptima de viajes a realizar por la empresa bajo estudio, que minimice los costos variables por viaje.
3. Proponer cursos de acción para la empresa de transporte en base al análisis realizado.

#### **3.2. Metodología y diseño de investigación**

En el presente trabajo de campo se define un enfoque cuantitativo, no experimental, transversal de tipo descriptivo.

En este caso se decidió utilizar el enfoque cuantitativo ya que se trabajó con los datos numéricos brindados por la empresa; utilizándolos para analizar y explicar los fenómenos investigados.

La investigación del trabajo es no experimental, debido a que no se manipulan ni se crean variables, si no que las observaciones realizadas ya existen.

Es de corte transversal, es decir que el análisis se realiza con los datos de un momento determinado.

Por último, es descriptiva porque su propósito es explicar un proceso que sucede en la realidad.

#### **3.3. Técnicas de recolección de datos**

En el presente trabajo de investigación la técnica de recolección de datos consiste en el análisis de información recabada de la empresa, entrevistas con los dueños y encargados del área de logística.

#### **3.4. Herramienta a utilizar**

La herramienta seleccionada es la técnica de programación lineal continua.



#### 4. MARCO TEÓRICO

El análisis cuantitativo es el enfoque científico de la toma de decisiones administrativas. Este enfoque comienza con datos. Los datos se manipulan o se procesan para convertirlos en información para quienes toman decisiones. Este proceso y manipulación de los datos convertidos en información significativa son la esencia del análisis cuantitativo.

Al resolver un problema, los gerentes deben considerar factores tanto cualitativos como cuantitativos.

El enfoque del análisis cuantitativo consiste en definir un problema, desarrollar un modelo, obtener los datos de entrada, desarrollar una solución, probar la solución, analizar los resultados e implementarlos.

El uso exitoso de las técnicas cuantitativas suele dar como resultado una solución oportuna, precisa, flexible, económica, confiable y fácil de entender y utilizar.

La programación lineal es una técnica de modelado matemático que está diseñada para ayudar a los gerentes en la planeación y toma de decisiones respecto a la asignación de recursos.

Todos los problemas en programación lineal tienen varias propiedades:

- Función objetivo: busca maximizar o minimizar alguna cantidad, por lo general, utilidades o costos.
- Restricciones: presencia de limitaciones o restricciones que acotan el grado en el que se pueden alcanzar los objetivos.
- Existencia de cursos de acción alternativos para elegir.
- Los objetivos y restricciones se deben expresar en términos de ecuaciones o desigualdades lineales.

Supuestos técnicos del modelo:

- Certeza
- Divisibilidad
- No negatividad
- Proporcionalidad
- Aditividad

Actualmente los modelos de programación lineal se utilizan en numerosas y diversas situaciones problemáticas: marketing, manufactura, finanzas, mezcla óptima de producto y de transporte.

En el presente trabajo se utilizará la programación lineal continua aplicada a un problema de transporte.

El problema de transporte es un caso muy específico de la programación lineal, y consiste en determinar la cantidad de envíos, o artículos se deberán transportar desde varios orígenes (fuentes) hacia varios destinos. Las restricciones en este tipo de problemas se refieren a las capacidades en cada origen y los requerimientos en cada destino, y su objetivo suele ser minimizar los costos.

El análisis de sensibilidad se utiliza para tratar no solo con los errores en la estimación de los parámetros de entrada para el modelo de programación lineal,



sino también con experimentos administrativos con posibles cambios futuros en la empresa.

Después de que se haya resuelto un problema de programación lineal, se pretende determinar una serie de cambios en los parámetros del problema, que no afectarán la solución óptima ni cambiarán las variables en la solución.

Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación se debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular del estudio.

El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema. Es la estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación y responder al planteamiento.

Si el diseño está concebido cuidadosamente, el producto final de un estudio (sus resultados) tendrá mayores posibilidades de generar conocimiento.

En la investigación cuantitativa es posible encontrar diferentes clasificaciones de los diseños: investigación experimental e investigación no experimental. La primera puede dividirse en: preexperimentos, experimentos “puros” y cuasiexperimentos. La investigación no experimental la subdividimos en diseños transversales y diseños longitudinales.

Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos. No se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

Los diseños no experimentales se pueden clasificar en transaccionales y longitudinales.

Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. A su vez, los diseños transeccionales se dividen en tres: exploratorios, descriptivos y correlacionales-causales.

Los diseños transaccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población. El procedimiento consiste en ubicar en una o diversas variables a un grupo de personas u otros seres vivos, objetos, situaciones, contextos, fenómenos, comunidades, etc., y proporcionar su descripción.



## 5. DESARROLLO

En el presente trabajo el objetivo es proponer un programa de viajes para la empresa de transporte, por lo cual se lleva a cabo en primera instancia un modelo de programación lineal para determinar la mezcla óptima de viajes que minimicen los costos variables por viaje.

### 5.1. Supuestos del modelo

Para el desarrollo del modelo, se definieron los siguientes supuestos:

- 1) Cada camión cisterna que se destina para el servicio de traslado de alcohol anhidro tiene una capacidad de 36000 m<sup>3</sup>/litros. Se trabajará con la unidad *viaje* suponiendo que cada viaje que se realice se hace con la totalidad de su capacidad utilizada. Por lo tanto, cada viaje corresponde al traslado de 36000 m<sup>3</sup>.
- 2) Hay 13 (trece) camiones destinados al transporte anhidro y un chofer por cada camión.
- 3) Cada viaje que se realiza tiene una duración de 4 (cuatro) a 5 (cinco) días, por lo que un camión podría realizar un viaje a la semana. Teniendo en cuenta que la gerencia prefiere que no se realicen viajes en fines de semana.

### 5.2. Desarrollo del modelo

Actualmente la empresa carga alcohol anhidro en tres ingenios azucareros ubicados en el norte del país y descarga en dos refinerías localizadas en la provincia de Buenos Aires.

Los datos recolectados fueron a partir de entrevistas realizadas a los dueños y empleados del área de logística.

Las demandas de las refinerías incluidas son de 20 (veinte) en la refinería 1 ubicada en Dock Sud y de 15 (quince) en la refinería 2 ubicada en Campana.

Por política de la empresa la asignación de viajes para cada ingenio es limitada, para el ingenio 1 Leales es de 10 (diez), 15 (quince) para el ingenio 2 Ledesma y 15 (quince) para el ingenio 3 Tabacal.

Para determinar los costos variables por viaje se consideró los costos de combustible de un camión cisterna, los costos de sueldos para un chofer de primera categoría y costos de peajes en base al total de kilómetros por cada circuito. Los costos variables totales por viaje se calcularon (Ver Apéndice) y sus resultados son los siguientes:



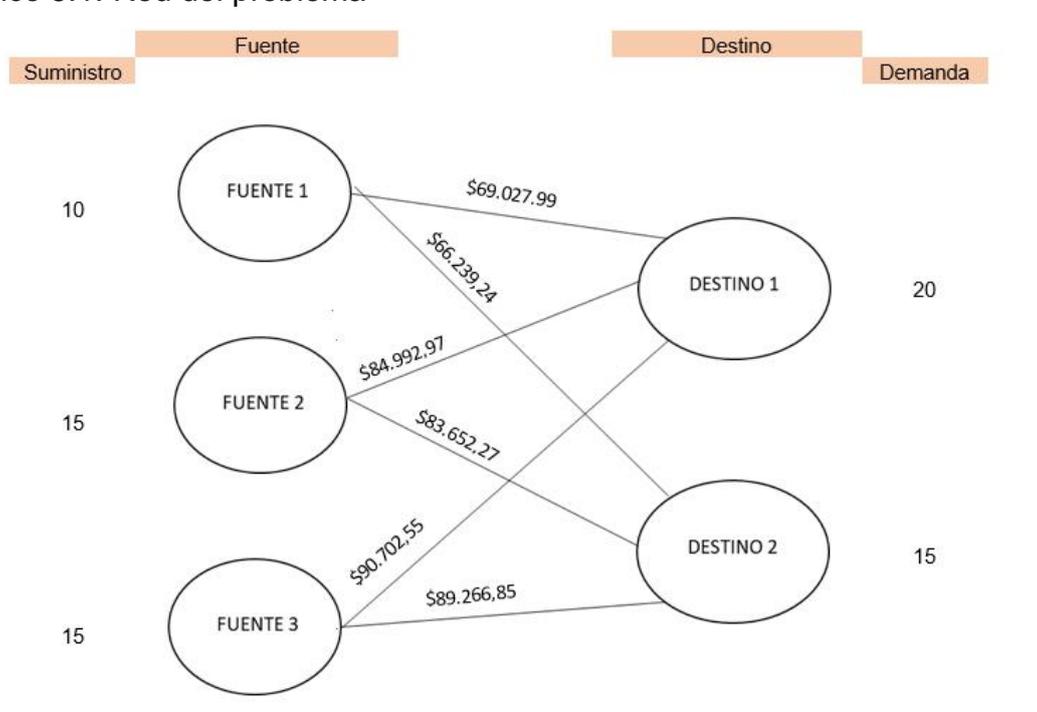
Tabla 5.1: Matriz costos variables por viaje.

COSTOS VARIABLES POR VIAJE	CAMPANA	DOCK SUD
LEALES	\$ 69.027,99	\$ 66.239,24
LEDESMA	\$ 84.992,97	\$ 83.652,27
TABACAL	\$ 90.702,55	\$ 89.266,85

Fuente: Elaboración propia.

Se armó una red de este problema para una mejor comprensión.

Gráfico 5.1: Red del problema



Fuente: Elaboración propia.

Cada círculo representa una fuente o un destino. Cada fuente y destino están numeradas para facilitar la definición de las variables. Cada flecha indica un posible circuito, en tanto que el costo por camión cisterna se muestra a lo largo de la flecha.



Para la formulación del problema se define lo siguiente:

- Variables de decisión:  
Xij: número de viajes de la fuente "i" al destino "j".

Donde: "i": 1,2,3. y j: 1,2.

- C11: cantidad de viajes de la fuente 1 al destino 1.
- C12: cantidad de viajes de la fuente 1 al destino 2.
- C21: cantidad de viajes de la fuente 2 al destino 1.
- C22: cantidad de viajes de la fuente 2 al destino 2.
- C31: cantidad de viajes de la fuente 3 al destino 1.
- C32: cantidad de viajes de la fuente 3 al destino 2.

- Función objetivo: minimizar los costos variables por viaje.

FO Min Costos Variables: \$69.027,99 C11 + \$66.239,24 C12 + \$84.992,97 C21 + \$83.652,27 C22 + \$90702,55 C31 + \$89.266,85 C32

- Restricciones:

Restricciones de política:

La Dirección determinó una política de destinar mayor cantidad de viajes al mes a los ingenios de Ledesma y Tabacal (fuente 2 y 3) y una cantidad menor de viajes al ingenio Leales (fuente 1).

- R1:  $C11 + C12 \leq 10$
- R2:  $C21 + C22 \leq 15$
- R3:  $C31 + C32 \leq 15$

Restricciones de demanda:

Las restricciones están dadas por la cantidad de viajes que las refinerías demandan de los diferentes ingenios en un mes.

- R4:  $C11 \geq 5$
- R5:  $C12 \geq 5$
- R6:  $C21 \geq 5$
- R7:  $C22 \geq 5$
- R8:  $C31 \geq 10$
- R9:  $C32 \geq 5$
- R10:  $C11 + C21 + C31 \geq 20$
- R11:  $C12 + C22 + C32 \geq 15$



Restricciones de capacidad:

Están dadas por la flota de camiones y los viajes que pueden realizar mensualmente y semanalmente.

Se define que el mes contará con cuatro semanas.

Primero se considera que en un mes se pueden realizar 52 viajes si cada semana sale la flota completa de los camiones, es decir 13 unidades por semana.

A partir de esta restricción se define la R13 para delimitar que por cada semana salga una vez cada camión.

$$R12: C11 + C12 + C21 + C22 + C31 + C32 \leq 52$$

$$R13: 0,25C11 + 0,25C12 + 0,25C21 + 0,25C22 + 0,25C31 + 0,25C32 \leq 13$$

Restricción de no negatividad:

$$C11; C12; C21; C22; C31; C32 \geq 0$$

## 6. RESULTADOS

### 6.1.Solución con variables de decisión continuas

FO: Min Costos  $69027,99 C11 + 66239,24 C12 + 84992,97 C21 + 83652,27 C22 + 90702,55 C31 + 89266,85 C32$

#### Restricciones

R1	Politica	$C11 + C12 \leq 10$
R2	Politica	$C21 + C22 \leq 15$
R3	Politica	$C31 + C32 \leq 15$
R4	Demanda	$C11 \geq 5$
R5	Demanda	$C12 \geq 5$
R6	Demanda	$C21 \geq 5$
R7	Demanda	$C22 \geq 5$
R8	Demanda	$C31 \geq 5$
R9	Demanda	$C32 \geq 10$
R10	Demanda	$C11 + C21 + C31 \geq 20$
R11	Demanda	$C12 + C22 + C32 \geq 15$
R12	Capacidad	$C11 + C12 + C21 + C22 + C31 + C32 \leq 52$
R13	Capacidad	$0,25 C11 + 0,25 C12 + 0,25 C21 + 0,25 C22 + 0,25 C31 + 0,25 C32 \leq 13$
R14	No negatividad	$C11; C12; C21; C22; C31; C32 \geq 0$



	C11	C12	C21	C22	C31	C32			
	5	5	10	5	5	10			
FO	\$ 69.027,99	\$ 66.239,24	\$ 84.992,97	\$ 83.652,27	\$ 90.702,55	\$ 89.266,85	\$ 3.290.708,42		
R1	1	1					10 <=	10 POLITICA	
R2			1	1			15 <=	15 POLITICA	
R3					1	1	15 <=	15 POLITICA	
R4	1						5 >=	5 DEMANDA	
R5		1					5 >=	5 DEMANDA	
R6			1				10 >=	5 DEMANDA	
R7				1			5 >=	5 DEMANDA	
R8					1		5 >=	5 DEMANDA	
R9						1	10 >=	10 DEMANDA	
R10	1		1		1		20 >=	20 DEMANDA	
R11		1		1		1	20 >=	15 DEMANDA	
R12	1	1	1	1	1	1	40 <=	52 CAPACIDAD	
R13	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	10 <=	13 CAPACIDAD	
R14	No Negatividad								

- Informe de respuestas:

Celda objetivo (Min)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$H\$29	FO Destino 1	\$ 3.290.708,42	\$ 3.290.708,42

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$B\$28	C11	5	5	Continuar
\$C\$28	C12	5	5	Continuar
\$D\$28	C21	10	10	Continuar
\$E\$28	C22	5	5	Continuar
\$F\$28	C31	5	5	Continuar
\$G\$28	C32	10	10	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$H\$30	R1 Destino 1	10	\$H\$30<=\$J\$30	Vinculante	0
\$H\$31	R2 Destino 1	15	\$H\$31<=\$J\$31	Vinculante	0
\$H\$32	R3 Destino 1	15	\$H\$32<=\$J\$32	Vinculante	0
\$H\$33	R4 Destino 1	5	\$H\$33>=\$J\$33	Vinculante	0
\$H\$34	R5 Destino 1	5	\$H\$34>=\$J\$34	Vinculante	0
\$H\$35	R6 Destino 1	10	\$H\$35>=\$J\$35	No vinculante	5
\$H\$36	R7 Destino 1	5	\$H\$36>=\$J\$36	Vinculante	0
\$H\$37	R8 Destino 1	5	\$H\$37>=\$J\$37	Vinculante	0
\$H\$38	R9 Destino 1	10	\$H\$38>=\$J\$38	Vinculante	0
\$H\$39	R10 Destino 1	20	\$H\$39>=\$J\$39	Vinculante	0
\$H\$40	R11 Destino 1	20	\$H\$40>=\$J\$40	No vinculante	5
\$H\$41	R12 Destino 1	40	\$H\$41<=\$J\$41	No vinculante	12
\$H\$42	R13 Destino 1	10	\$H\$42<=\$J\$42	No vinculante	3



El informe de respuestas nos da el valor final de la celda objetivo, que en este caso es \$3.290.708,42, es decir el mínimo costo que cumple con todas las restricciones. Además, nos indica la cantidad de viajes que deben hacerse para cada circuito:

Circuito 1-1: 5 viajes.

Circuito 1-2: 5 viajes.

Circuito 2-1: 10 viajes.

Circuito 2-2: 5 viajes.

Circuito 3-1: 5 viajes.

Circuito 3-2: 10 viajes.

Tabla 6.1: Mezcla óptima.

SOLUCIÓN	Campana	Dock Sud	Total ingenio
Leales	5	5	10
Ledesma	10	5	15
Tabacal	5	10	15
Total refinería por	20	20	40

Fuente: Elaboración propia.

También nos indica cuáles de las restricciones son vinculantes y no vinculantes es decir cuellos de botellas, por ejemplo, en el caso de la última restricción la empresa cuenta con una capacidad de 13 camiones y sólo utiliza 10 de ellos. No así el caso de la sexta restricción en donde la empresa tiene una demanda de 5 viajes y está realizando 10, sobrepasando el tope que posee. Es decir que todas esas cuestiones deben gestionarse para realizar una buena planificación del circuito de viaje.

## 6.2. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se utiliza para tratar no solo con los errores en la estimación de los parámetros de entrada para el modelo de programación lineal, sino también con experimentos administrativos con posibles cambios futuros en la empresa.

Después de que se haya resuelto un problema de PL, se pretende determinar una serie de cambios en los parámetros del problema, que no afectarán la solución óptima ni cambiarán las variables en la solución.



Tabla Nº 6.1: Informe de sensibilidad obtenido con Solver

Celdas de variables

Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Coste	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$B\$28	C11	5	0	69027,98624	15964,97966	1E+30
\$C\$28	C12	5	0	66239,24499	1E+30	82204,22465
\$D\$28	C21	10	0	84992,9659	5709,579333	15964,97966
\$E\$28	C22	5	0	83652,27265	1E+30	83652,27265
\$F\$28	C31	5	0	90702,54523	1E+30	5709,579333
\$G\$28	C32	10	0	89266,85199	1E+30	89266,85199

-1E+30	84992,9659
-15964,98	1E+30
69027,9862	90702,5452
0	1E+30
84992,9659	1E+30
0	1E+30

Restricciones

Celda	Nombre	Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$H\$30	R1 Destino 1	10	-15964,97966	10	5	0
\$H\$31	R2 Destino 1	15	0	15	1E+30	0
\$H\$32	R3 Destino 1	15	0	15	1E+30	0
\$H\$33	R4 Destino 1	5	0	5	0	1E+30
\$H\$34	R5 Destino 1	5	82204,22465	5	0	5
\$H\$35	R6 Destino 1	10	0	5	5	1E+30
\$H\$36	R7 Destino 1	5	83652,27265	5	0	5
\$H\$37	R8 Destino 1	5	5709,579333	5	0	0
\$H\$38	R9 Destino 1	10	89266,85199	10	0	5
\$H\$39	R10 Destino 1	20	84992,9659	20	0	5
\$H\$40	R11 Destino 1	20	0	15	5	1E+30
\$H\$41	R12 Destino 1	40	0	52	1E+30	12
\$H\$42	R13 Destino 1	10	0	13	1E+30	3

10	15
15	1E+30
15	1E+30
-1E+30	5
0	5
-1E+30	10
0	5
5	5
5	10
15	20
-1E+30	20
40	1E+30
10	1E+30

Fuente: Salida Complemento Solver

Otro programa que se utilizó para complementar con el análisis de sensibilidad obtenido con Solver fue QM for Windows.

Se puede observar que da el mismo resultado que con Solver.

Tabla Nº 6.2: Informe de sensibilidad obtenido con QM

TRABAJO Solution					
Variable	Value	Reduced	Original Val	Lower Bou	Upper Bou
C11	5	0	69028	-Infinity	84993
C12	5	0	66239	-15965	Infinity
C21	10	0	84993	69028	90702
C22	5	0	83652	0	Infinity
C31	5	0	90702	84993	Infinity
C32	10	0	89267	0	Infinity
	Dual Value	Slack/Surp...	Original Val	Lower Bou	Upper Bou
Constraint 1	-15965	0	10	10	15
Constraint 2	0	0	15	15	Infinity
Constraint 3	0	0	15	15	Infinity
Constraint 4	0	0	5	-Infinity	5
Constraint 5	-82204	0	5	0	5
Constraint 6	0	5	5	-Infinity	10
Constraint 7	-83652	0	5	0	5
Constraint 8	-5709	0	5	5	5
Constraint 9	-89267	0	10	5	10
Constraint 10	-84993	0	20	15	20
Constraint 11	0	5	15	-Infinity	20
Constraint 12	0	12	52	40	Infinity
Constraint 13	0	3	13	10	Infinity

Fuente: Salida programa QM for Windows.



### Rango de optimalidad:

Variable C1-1: el valor del costo variable por viaje puede disminuir a \$0 y aumentar a \$84.992,96 y el conjunto solución será el mismo, pero el valor si se modificará en la función objetivo.

Variable C2-1: el valor del costo variable por viaje puede disminuir a \$69.027,98 y aumentar a \$90.702,54 y el conjunto solución no se modificará, distinto del valor de la función objetivo que si sufrirá cambios.

Costo reducido: al realizar viajes en todos los circuitos planteados, no se observa coste reducido para cada una.

### Rango de factibilidad:

R1: Dentro del rango de 10 viajes y 15 viajes el precio sombra se mantendrá válido.

Precio sombra: los precios sombra identifican como restricciones cuellos de botella.  
R1: si se reduce un viaje en el lado derecho de 10 a 9 mi costo aumenta en \$15.964,97. Si aumenta un viaje en el lado derecho de 10 a 11 mi costo disminuye en \$15.964,97.

R5: si se reduce un viaje en el lado derecho de 5 a 4 mi costo disminuye en \$82.204,22. En caso de que se aumente un viaje en el lado derecho de 20 a 21 mi costo aumentará en \$82.204,22.

### Restricciones de política

Si la gerencia decide cambiar su política, por cada viaje adicional que destine al ingenio Leales el costo disminuiría en \$15964,97.

Por cada viaje adicional que destine a los ingenios Ledesma y Tabacal el costo de la función objetivo no se modificará.

Por este motivo sería recomendable a la empresa revisar su política de viajes asignados a Leales.

### Restricciones de demanda

En el caso de que la demanda cambie

R5 y R7: por cada unidad menos se reduce la función objetivo en \$82.204,22 y en \$83652,97 respectivamente, en el rango entre 0 y 5. Si la cantidad demandada de viajes disminuye en el rango, la empresa enfrentará una disminución de costos. Pero si la demanda aumenta habrá que resolver nuevamente la programación ya que no pertenece al rango de factibilidad.



R8: se puede observar que no se puede reducir ni aumentar un viaje ya que se deberá resolver el problema nuevamente. Es por esto que si la demanda llega a cambiar la empresa tendrá que prestar atención a que no se modifique la demanda de Tabacal a Campana.

R9 y R10: por cada unidad menos se reduce la función objetivo en \$89266,85 y \$84992,96 respectivamente, en el rango entre 5 y 10 y 15 y 20. Si la cantidad demandada de viajes disminuye en el rango, la empresa enfrentará una disminución de costos. Pero si la demanda aumenta habrá que resolver nuevamente la programación ya que no pertenece al rango de factibilidad.

En todas las restricciones de demandas los valores finales son iguales a su límite superior, esto quiere decir que si la demanda llega a incrementarse se deberá resolver nuevamente el problema de programación lineal llevando a que no solo cambie el valor de la función objetivo, sino también el conjunto solución.

En el caso que la demanda disminuya, la restricción del circuito 3-2 que es Tabacal - Dock Sud es la que reducirá en mayor monto los costos.

#### Restricciones de capacidad

De los 13 viajes por semana definidos como restricción, solamente se realizarán 10 viajes por semana.

Si la empresa decidiera agregar un camión más a su flota no modificaría la solución óptima, sólo incrementaría la holgura, ya que se trata de una restricción no vinculante.

### **6.3 Programación lineal para planificación**

Uno de los objetivos en el presente trabajo de campo es proponer una planificación mensual a la empresa de transporte bajo estudio que ayude a una mejor organización.

La organización cuenta con una planificación, pero actualmente no se está cumpliendo con la demanda. Es por esto que se aplicará la herramienta de programación lineal para obtener un programa de viajes que cumpla con los recorridos que dio como resultado la primera programación lineal.

Función objetivo: cumplir con la cantidad de viajes brindada por Solver.

$$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{40} = 40$$



Variables de decisión: cantidad de viajes a realizar por semana.

$X_i=40$  con  $i= 1,2,3...40$

Restricciones:

- Viajes semanales: se deben realizar 10 viajes semanales en cada una de las semanas.

$$R1: X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}=10$$

$$R2: X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}+X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20}=10$$

$$R3: X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}+X_{29}+X_{30}=10$$

$$R4: X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35}+X_{36}+X_{37}+X_{38}+X_{39}+X_{40}=10$$

- Resultados mensuales: cantidad de viajes que se deben realizar para cada uno de los circuitos.

$$R5: X_1+X_7+X_{11}+X_{17}+X_{21}+X_{27}+X_{31}+X_{37}=5$$

$$R6: X_2+X_8+X_{12}+X_{18}+X_{22}+X_{28}+X_{32}+X_{38}=5$$

$$R7: X_3+X_9+X_{13}+X_{19}+X_{23}+X_{29}+X_{33}+X_{39}=10$$

$$R8: X_4+X_{10}+X_{14}+X_{20}+X_{24}+X_{30}+X_{34}+X_{40}=5$$

$$R9: X_5+X_{15}+X_{25}+X_{35}=5$$

$$R10: X_6+X_{16}+X_{26}+X_{36}=10$$

- Cantidad mínima de viajes por semana: por lo menos se debe realizar un viaje por semana de cada uno de los circuitos definidos.

$$R11: X_1+X_7 \geq 1$$

$$R12: X_2+X_8 \geq 1$$

$$R13: X_3 + X_9 \geq 1$$

$$R14: X_4 + X_{10} \geq 1$$

$$R15: X_5 \geq 1$$

$$R16: X_6 \geq 1$$

$$R17: X_{11} + X_{17} \geq 1$$



R18:  $X_{12} + X_{18} \geq 1$

R19:  $X_{13} + X_{19} \geq 1$

R20:  $X_{14} + X_{20} \geq 1$

R21:  $X_{15} \geq 1$

R22:  $X_{16} \geq 1$

R23:  $X_{21} + X_{27} \geq 1$

R24:  $X_{22} + X_{28} \geq 1$

R25:  $X_{23} + X_{29} \geq 1$

R26:  $X_{24} + X_{30} \geq 1$

R27:  $X_{25} \geq 1$

R28:  $X_{26} \geq 1$

R29:  $X_{31} + X_{37} \geq 1$

R30:  $X_{32} + X_{38} \geq 1$

R31:  $X_{33} + X_{39} \geq 1$

R32:  $X_{34} + X_{40} \geq 1$

R33:  $X_{35} \geq 1$

R33:  $X_{36} \geq 1$

- No negatividad:

R34:  $X_i \geq 0$





SEMANA 3							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
VIAJE 1			C11				
VIAJE 2			C11				
VIAJE 3			C12				
VIAJE 4			C21				
VIAJE 5			C21				
VIAJE 6			C21				
VIAJE 7			C21				
VIAJE 8			C22				
VIAJE 9			C31				
VIAJE 10			C32				

SEMANA 4							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
VIAJE 1			C12				
VIAJE 2			C12				
VIAJE 3			C31				
VIAJE 4			C32				
VIAJE 5			C32				
VIAJE 6			C32				
VIAJE 7			C32				
VIAJE 8			C11				
VIAJE 9			C21				
VIAJE 10			C22				

## 7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo mediante el análisis de los datos obtenidos se propone un modelo de programación lineal continua como solución a la problemática expuesta. Se obtuvo un conjunto solución óptimo que cumple con las restricciones de demanda, política y capacidad la cual minimiza los costos variables por viajes para la empresa bajo estudio.

Además, se complementa a la programación lineal anterior la aplicación de otro modelo de programación lineal continua basada en los resultados obtenidos. Con el conjunto solución de la técnica matemática aplicada se armó la propuesta de planificación mensual.

De esta manera con las técnicas aplicadas se cuenta con la información para la empresa de transporte que le permitirá una mejor organización con su programa de viajes de alcohol para los siguientes meses contribuyendo en una mejor calidad de servicio y toma de decisiones.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Render, B., Stair R., Hanna M. (2012). *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. México D.F, México: Pearson.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta edición. D.F., México. McGraw-Hill.
- Gaither N., Frazier G.(2000). *Administración de producción y operaciones*. Octava edición. México. Thompson editores.



## 9. APÉNDICE

### 9.1 Cálculo costos variables por viaje

Actualmente la empresa de transporte cuenta con una flota de trece camiones cisternas y cada uno de estos tienen una capacidad de 36.000 litros.

Tabla 9.1 Flota de camiones cisterna

UNIDADES			
Cantidad	Tractor	Semi	Capacidad
1	GET999	CMB059	36000,00
2	JBZ957	JAE377	36000,00
3	IXA535	JAO708	36000,00
4	IWJ847	BLP498	36000,00
5	OQA990	OQY406	36000,00
6	MMH347	MTT623	36000,00
7	MVH515	MWT763	36000,00
8	NIG069	NON911	36000,00
9	NXQ435	NWQ417	36000,00
10	PIN136	PJB881	36000,00
11	OYX752	PLH861	36000,00
12	OQA986	OFO298	36000,00
13	IEM405	BLP499	36000,00

Fuente: *Elaboración propia.*

El siguiente paso fue determinar el número de circuitos que se están realizando actualmente.

- C11: Tucumán - Leales - Campana.
- C12: Tucumán - Leales - Dock Sud.
- C21: Tucumán - Ledesma - Campana.
- C22: Tucumán - Ledesma - Dock Sud.
- C31: Tucumán - Tabacal - Campana.
- C32: Tucumán - Tabacal - Dock Sud.

A partir de la información obtenida acerca de la cantidad de unidades con las que cuenta la organización y los circuitos que está realizando, se recolecta los datos necesarios para el cálculo de los costos.

Los costos variables por viaje están compuestos por costos de combustible, costos de sueldos y costos de peajes.

#### a) Costos combustibles

En este cálculo lo que se busca es obtener el costo de combustible para cada circuito. Para llegar a este objetivo los datos a tener en cuenta son:



- El precio del combustible actual y el consumo por km de combustible: información brindada por la empresa.

Tabla 9.2: Información costos combustible

COSTOS COMBUSTIBLE	
Costo por litro	\$ 60,4244
Consumo por km	3 litros

Fuente: *Elaboración propia.*

- La cantidad de kilómetros por cada circuito: los kilómetros son datos obtenidos a través de dos sistemas de GPS con los que cuentan las unidades, SCANIA y SITRACK.

Tabla 9.3: Cálculo de kilómetros por circuito.

CÁLCULO KILOMETROS POR CIRCUITO			
CIRCUITO 1-1		CIRCUITO 1-2	
TUC - LEALES	50	TUC - LEALES	50
LEALES - TUC	50	LEALES - TUC	50
TUC - CAMPANA	1200	TUC - DOCK SUD	1242
CAMPANA - DOCK SUD	88	DOCK SUD - TUC	1242
DOCK SUD - TUC	1300		
<b>TOTAL KM</b>	<b>2688</b>	<b>TOTAL KM</b>	<b>2584</b>
CIRCUITO 2-1		CIRCUITO 2-2	
TUC - LEDESMA	400	TUC - LEDESMA	400
LEDESMA - TUC	400	LEDESMA - TUC	400
TUC - CAMPANA	1200	TUC - DOCK SUD	1242
CAMPANA - DOCK SUD	88	DOCK SUD - TUC	1242
DOCK SUD - TUC	1242		
<b>TOTAL KM</b>	<b>3330</b>	<b>TOTAL KM</b>	<b>3284</b>
CIRCUITO 3-1		CIRCUITO 3-2	
TUC - TABACAL	500	TUC - TABACAL	500
TABACAL - TUC	500	TABACAL - TUC	500
TUC - CAMPANA	1200	TUC - DOCK SUD	1242
CAMPANA - DOCK SUD	88	DOCK SUD - TUC	1242
DOCK SUD - TUC	1242		
<b>TOTAL KM</b>	<b>3530</b>	<b>TOTAL KM</b>	<b>3484</b>

Fuente: *Elaboración propia.*

- Consumo de combustible y costo de combustible por cada circuito: con respecto al consumo de combustible es la razón entre la cantidad de kilómetros sobre el consumo de combustible por km. Este último cálculo sirve para el cálculo del costo del combustible por cada circuito que es igual al consumo de combustible por el costo por litro del combustible.



Tabla 9.4: Costos combustibles por circuito.

CIRCUITOS			
<b>CIRCUITO 11: TUC - LEALES - CAMPANA</b>		<b>CIRCUITO 12: TUC - LEALES - DOCK SUD</b>	
Cantidad de km	2688 km	Cantidad de km	2584 km
Consumo combustible	896 litros	Consumo combustible	861,33 litros
Costo combustible	\$ 54.140,2624	Costo combustible	\$ 52.045,5499
<b>CIRCUITO 21: TUC - LEDESMA - CAMPANA</b>		<b>CIRCUITO 22: TUCUMAN - LEDESMA - DOCK SUD</b>	
Cantidad de km	3330 km	Cantidad de km	3284 km
Consumo combustible	1110,00 litros	Consumo combustible	1094,67 litros
Costo combustible	\$ 67.071,0840	Costo combustible	\$ 66.144,5765
<b>CIRCUITO 31: TUCUMAN - TABACAL - CAMPANA</b>		<b>CIRCUITO 6: TUCUMAN - TABACAL - DOCK SUD</b>	
Cantidad de km	3530 km	Cantidad de km	3484 km
Consumo combustible	1176,67 litros	Consumo combustible	1161,33 litros
Costo combustible	\$ 71.099,3773	Costo combustible	\$ 70.172,8699

Fuente: *Elaboración propia.*

b) Costos sueldos:

Para el cálculo de los sueldos se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos:

- Horas extras por kilómetro: es un concepto que se le paga a los choferes aparte del sueldo básico. Se tiene en cuenta la cantidad de kilómetros recorridos por cada circuito y se multiplica por 3,2221 definido por el convenio colectivo de trabajo.
- Costo carga/descarga: cada vez que se carga y descarga líquidos se abona un importe que actualmente es de \$876,76. Se considera 2 carga/descarga y este es multiplicado por el importe.
- Días de viaje: en el caso de los circuitos en el que se dirigen a los ingenios Leales y Ledesma el viaje tiene una duración aproximada de 4 días, a diferencia de los circuitos que deben ir hasta Tabacal, los cuales duran aproximadamente 5 días.

Tabla 9.5: Costos sueldos.

COSTOS SUELDOS				
	Kilometros	Hs extras por km	Costo carga/descarga	TOTAL COSTOS
<b>C11</b>	2688	\$8.659,20	\$1.753,52	<b>\$10.412,72</b>
<b>C12</b>	2584	\$8.324,18	\$1.753,52	<b>\$10.077,70</b>
<b>C21</b>	3330	\$10.727,36	\$1.753,52	<b>\$12.480,88</b>
<b>C22</b>	3284	\$10.579,18	\$1.753,52	<b>\$12.332,70</b>
<b>C31</b>	3530	\$11.371,65	\$1.753,52	<b>\$13.125,17</b>
<b>C32</b>	3484	\$11.223,46	\$1.753,52	<b>\$12.976,98</b>

Fuente: *Elaboración propia.*



- c) Costos peajes: el importe de los peajes de cada circuito es obtenidos a partir de la cantidad de peajes que los choferes rinden a la empresa una vez que rinden el viaje.

Tabla 9.6: Costos peajes.

COSTOS PEAJES	
C11	\$4.475,00
C12	\$4.116,00
C21	\$5.441,00
C22	\$5.175,00
C31	\$6.478,00
C32	\$6.117,00

Fuente: *Elaboración propia.*

- d) Costos variables totales por viaje: Es la suma de los costos de los combustibles, el costo de los peajes y el costo de los sueldos. Queda determinado de la siguiente manera:

Tabla 9.7: Costos variables totales por viaje.

COSTOS TOTALES				
	Combustible	Sueldos	Peajes	TOTAL
CIRCUITO 11	\$ 54.140,2624	\$10.412,72	\$4.475,00	\$ 69.027,99
CIRCUITO 12	\$ 52.045,5499	\$10.077,70	\$4.116,00	\$ 66.239,24
CIRCUITO 21	\$ 67.071,0840	\$12.480,88	\$5.441,00	\$ 84.992,97
CIRCUITO 22	\$ 66.144,5765	\$12.332,70	\$5.175,00	\$ 83.652,27
CIRCUITO 31	\$ 71.099,3773	\$13.125,17	\$6.478,00	\$ 90.702,55
CIRCUITO 32	\$ 70.172,8699	\$12.976,98	\$6.117,00	\$ 89.266,85

Fuente: *Elaboración propia.*

## 9.2 Cálculo planificación

Para armar la planificación mensual como propuesta para la organización primero se definen algunos supuestos para poder armar la programación lineal.

Plan Mensual: por políticas de la empresa de transporte los camiones solo pueden realizar viajes los días de semana. Como límite pueden concluir con los viajes los sábados al mediodía.

Además, los circuitos tienen una duración aproximada de cuatro o cinco días. Es por esto que se delimita que solamente pueden iniciar sus viajes los días lunes o martes.



PLAN MENSUAL	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo
Semana 1	SI	SI	x	x	x	x	x
Semana 2	SI	SI	x	x	x	x	x
Semana 3	SI	SI	x	x	x	x	x
Semana 4	SI	SI	x	x	x	x	x
SI: Días que puede salir un camión.							
X: Días que no puede salir un camión.							

Cantidad de viajes por mes: Una vez aplicado la programación lineal continua que determinó la mezcla óptima que minimice los costos, se obtuvo como resultado que se deben realizar 40 viajes mensuales y 10 viajes semanales.

Los circuitos C11 - C12 - C21 - C22 tienen una duración de 4 días por lo que pueden comenzar sus viajes tanto los días lunes como los días martes.

En cambio, los circuitos C31 - C32 tienen una duración de 5 días, es decir que solamente iniciarán sus viajes los días lunes, de lo contrario regresarán el fin de semana.

CANTIDAD DE VIAJES POR MES								
	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
C11	X1	X7	X11	X17	X21	X27	X31	X37
C12	X2	X8	X12	X18	X22	X28	X32	X38
C21	X3	X9	X13	X19	X23	X29	X33	X39
C22	X4	X10	X14	X20	X24	X30	X34	X40
C31	X5		X15		X25		X35	
C32	X6		X16		X26		X36	
Cantidad de viajes por mes: 40								

## 10. ANEXO

Matriz 10.1: Viajes demandados.

Demanda	Campana	Dock Sud
Leales	5	5
Ledesma	5	5
Tabacal	10	5
<b>Total</b>	20	15

Fuente: Elaboración propia



Cuadro 10.1: Planificación mes de mayo 2021.

	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
	1/5/2021	2/5/2021	3/5/2021	4/5/2021	5/5/2021	6/5/2021	7/5/2021	8/5/2021	9/5/2021
VIAJE 1			C31						
VIAJE 2									
VIAJE 3									
VIAJE 4									
VIAJE 5				C11					
VIAJE 6									
VIAJE 7			C21						
VIAJE 8			CURSO			C12			
VIAJE 9									
VIAJE 10									
VIAJE 11									
VIAJE 12									
VIAJE 13				C22					

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	
	10/5/2021	11/5/2021	12/5/2021	13/5/2021	14/5/2021	15/5/2021	16/5/2021	
VIAJE 1								
VIAJE 2			C22					
VIAJE 3		C32						
VIAJE 4								
VIAJE 5								
VIAJE 6		C11						
VIAJE 7	LICENCIA	LICENCIA						
VIAJE 8								
VIAJE 9	C12							
VIAJE 10								
VIAJE 11		C31						
VIAJE 12	C21							
VIAJE 13								

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	
	17/5/2021	18/5/2021	19/5/2021	20/5/2021	21/5/2021	22/5/2021	23/5/2021	
VIAJE 1							VACUNA	
VIAJE 2								
VIAJE 3								
VIAJE 4								
VIAJE 5		C22						
VIAJE 6	C31							
VIAJE 7								
VIAJE 8		C31						
VIAJE 9	C12							
VIAJE 10								
VIAJE 11							VACUNA	
VIAJE 12								
VIAJE 13	C32							

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES
	24/5/2021	25/5/2021	26/5/2021	27/5/2021	28/5/2021	29/5/2021	30/5/2021	31/5/2021
VIAJE 1	C22							
VIAJE 2	C32							
VIAJE 3								
VIAJE 4				C11				
VIAJE 5								
VIAJE 6								
VIAJE 7	C32							
VIAJE 8								
VIAJE 9								
VIAJE 10	C31							
VIAJE 11								
VIAJE 12	C22							
VIAJE 13								