



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE IZTAPALAPA  
INGENIERÍA EN GESTIÓN EMPRESARIAL  
CADENA DE SUMINISTROS

**Elaborado por:**

CORONA ALTAMIRANO ADONIS DANIEL  
GARCÍA NAVARRETE CHRISTIAN ALBERTO  
GUTIÉRREZ MARINES TANYA PAOLA  
RUIZ GONZALES MARÍA GUADALUPE  
SANTAMARÍA SALAZAR JAZMÍN AIDÉ  
VARGAS ESQUIVEL JULIÁN





INSTITUTO TECNOLÓGICO DE IZTAPALAPA  
INGENIERÍA EN GESTIÓN EMPRESARIAL  
CADENA DE SUMINISTROS

# **SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTROS MEDIANTE “LINGO”**



## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	5
GENERALIDADES.....	6
EJERCICIO #1.....	8
SOLUCIÓN.....	9
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	12
EJERCICIO #2.....	13
SOLUCIÓN.....	14
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	19
EJERCICIO #3.....	21
SOLUCIÓN.....	21
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	27
EJERCICIO #4.....	29
SOLUCIÓN.....	31
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	35
EJERCICIO #5.....	37
SOLUCION.....	39
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
CONCLUSIÓN:.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48



Ilustración 1 Función Objetivo .....	6
ILUSTRACIÓN 2 SUJETO A RESTRICCIONES .....	6
ILUSTRACIÓN 3 FORMULA DE IGUALDAD .....	6
ILUSTRACIÓN 4 LOCALIZACIÓN DE PLANTAS .....	7
ILUSTRACIÓN 5 INFORMACIÓN DE PLANTAS .....	8
ILUSTRACIÓN 6 COSTO DE LOCALIZACION.....	8
ILUSTRACIÓN 7 MODELO DE REDES.....	9
ILUSTRACIÓN 8 LINGO #1.....	11
ILUSTRACIÓN 9 RESULTADOS DE LINGO #1 .....	12
Ilustración 10 ANALISIS DE COSTOS #1 .....	12
ILUSTRACIÓN 11 ANALISIS DE PLANTA #2.....	13
ILUSTRACIÓN 12 COSTOS UNITARIOS DE EMBARQUE.....	13
ILUSTRACIÓN 13 MODELO DE REDES #2.....	14
ILUSTRACIÓN 14 FORMULA DE AMORTIZACION .....	15
ILUSTRACIÓN 15 ANALISIS DE COSTOS #2 .....	15
ILUSTRACIÓN 16 LINGO #2.....	18
ILUSTRACIÓN 17 RESULTADOS LINGO #2 .....	19
ILUSTRACIÓN 18 ANALISIS DE COSTOS #2 .....	19
ILUSTRACIÓN 19 ANALISIS DE COSTOS .....	20
ILUSTRACIÓN 20 ANALIS DE PLANTAS #3.....	21
ILUSTRACIÓN 21 ANALISIS DE LOCALIZACION DE PLANTA .....	21
ILUSTRACIÓN 22 ANALISIS DE CAPACIDAD #3 .....	21
ILUSTRACIÓN 23 MODELO DE REDES #3.....	22
ILUSTRACIÓN 24 LINGO #3.....	26
ILUSTRACIÓN 25 ANALISIS DE COSTOS #3 .....	27
ILUSTRACIÓN 26 REDUCCION DE COSTOS #3 .....	28
ILUSTRACIÓN 27 ANALISIS DE PLANTA #4.....	29
ILUSTRACIÓN 28 ANALISIS DE PLANTA #4.....	29
ILUSTRACIÓN 29 CAPACIDADES Y COSTOS #4 .....	30
ILUSTRACIÓN 30 MODELO DE REDES #4.....	31
ILUSTRACIÓN 31 LINGO #4.....	34
ILUSTRACIÓN 32 REDUCCION DE COSTOS LINGO #4.....	35
ILUSTRACIÓN 33 DIFERENCIA DE COSTOS #4.....	36
ILUSTRACIÓN 34 COSTOS DE TRANSPORTE #5 .....	37
ILUSTRACIÓN 35 COSTOS DE TRANSPORTE DE PLANTAS #5 .....	38
ILUSTRACIÓN 36 MODELO DE REDES #5.....	39
ILUSTRACIÓN 37 LINGO #5.....	44
ILUSTRACIÓN 38 ANALISIS DE RESULTADOS #5 .....	45
ILUSTRACIÓN 39 REDUCCION DE COSTOS #5 .....	46



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo podrás encontrar diferentes ejercicios de logística, que permiten mediante el uso del programa “LINGO” encontrar las rutas adecuadas para la localización de plantas acorde a las diferentes necesidades que se presenten en cada ejercicio. Esto principalmente le permite al usuario disminuir en gran cantidad los costos entre los principales están:

- Reducción de costos de transporte
- Reducción de costos de instalación
- Reducción de costos de operación

En la actualidad la LOGISTICA es la encargada de la distribución eficiente de los productos de una determinada empresa con un menor costo y un excelente servicio al cliente, es por ello que en las empresas a tomado un papel muy importante así como los medios y programas para poder definir concisamente las variables que intervienen en los sistemas de distribución para generar las rutas más viables y hacer más eficiente y optimo nuestro servicio Cada uno de los ejercicios que se presentaran a continuación contienen diferentes características ya sea de capacidad de planta, de costos, de plantas potenciales, etc, sin embargo el programa lingo nos va a permitir seleccionar las mejores plantas de todas las posibles para cada ejercicio, siempre y cuando el modelo se meta de forma correcta dentro del programa. Es importante resaltar desde un principio que como primer paso para cualquier ejercicio es la determinación de variables ya que acorde a la cantidad de variables que nosotros modelemos es la posibilidad de que el programa funcione correctamente y otorgue las soluciones más óptimas para el alcance de objetivos de cada respectivo ejercicio. Cada uno de los ejercicios que se verán en el presente trabajo podremos analizar paso a paso como se resuelven, es decir de la siguiente manera:

- Presentación de la información del ejercicio
- Determinación de variables
- solución del problema
- descripción de cómo se mete en el programa
- análisis de resultados
- interpretación de los resultados
- esquematización de resultados

También podremos encontrar una conclusión general sobre la importancia de obtener excelentes resultados con la utilización de un buen programa como lo es Lingo.



## GENERALIDADES

La programación lineal es una serie de métodos y procedimientos que permiten la resolución de problemas de una manera óptima, ya sea de maximizar o minimizar un objetivo, de tal modo que las variables estén sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones. Esto hace que a través de su método de utilización se puedan simplificar los cálculos y obtener un resultado próximo a la realidad.

El método de mayor utilización para la programación lineal es LINGO que es una herramienta que ayuda a formular problemas lineales y no lineales para la resolución y canalización de la solución de los problemas. Este utiliza un lenguaje de modelación matemática, el cual permite expresarlo de manera natural y de fácil entendimiento.

La función objetivo se obtiene de la suma de todos los productos del costo unitario por el número de bienes enviados desde cada origen a cada destino, es decir:

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij}$$

Ilustración 1 Función Objetivo

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \text{ con } i = 1, 2, \dots, n \quad (1) \text{ Restricción de la oferta (} a \text{) de cada } \textit{origen}.$$
$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j \text{ con } j = 1, 2, \dots, m \quad (2) \text{ Restricción de la demanda (} d \text{) de cada } \textit{destino}.$$

ILUSTRACIÓN 2 SUJETO A RESTRICCIONES

Para este modelo se supone que existe el equilibrio entre la oferta y la demanda, es decir, que se cumple la igualdad:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n d_j$$

ILUSTRACIÓN 3 FORMULA DE IGUALDAD



Las variables  $x_{ij}$  representan el número de unidades que se envían del  $i$ -ésimo origen al  $j$ -ésimo destino. En este caso, el número de orígenes es  $i = 1, 2$  y cuatro destinos  $j = 1, 2, 3, 4$

Según Ingeniero Industrial Humberto Ángel Chávez Milla menciona que las restricciones son relaciones entre las variables de decisión y los recursos disponibles. Las restricciones del modelo limitan el valor de las variables de decisión. Se generan cuando los recursos disponibles son limitados, adicionalmente de las restricciones, la restricción de No Negatividad de las Variables de decisión, o sea:  $X_i = 0$ .

Las localizaciones de plantas, servicios y, en general, el diseño del sistema de distribución y atención al cliente son decisiones de enorme importancia para el éxito o fracaso de un proyecto empresarial, si se tiene en cuenta que una vez localizada la planta o el almacén, la decisión de trasladarse hacia un localización más conveniente es poco factible, ya que esta decisión implica una inversión considerable además de cambios radicales en la operación del negocio. (BALLOU, 2004)



ILUSTRACIÓN 4 LOCALIZACIÓN DE PLANTAS

En los siguientes ejemplos se darán a conocer casos de localización de plantas y centros de distribución para la solución y optimización de servicios que requieren las distintas empresas y/ o plantas.



## EJERCICIO #1

La empresa Manufacturas Águila Real, dedicada a la producción de defensas para automóviles, debe decidir sobre la construcción de nuevas plantas para atender pedidos para exportación, así como sobre el desarrollo de un sistema de distribución más eficiente. En la actualidad tienen una sola planta en San Luis Potosí, con una capacidad de producción de 30 000 unidades. Debido a un aumento de la demanda, se están considerando cuatro posibles locaciones para nuevas plantas: Durango, Ciudad de México, Toluca y Zacatecas. La siguiente por unidades y las demandas para el siguiente año.

ORIGEN	NUEVO LAREDO	PIEDRAS NEGRAS	CD. JUÁREZ	CAPACIDADES
DURANGO	5	2	3	30 000
TOLUCA	8	6	6	20 000
CDMX	9	7	6	30 000
ZACATECAS	4	4	5	40 000
SAN LUIS	3	2	4	30 000
DEMANDA	30 000	20 000	20 000	

ILUSTRACIÓN 5 INFORMACIÓN DE PLANTAS

El costo de localización de las nuevas plantas es el siguiente (con gastos de operación y amortización anuales):

DURANGO	TOLUCA	CDMX	ZACATECAS
175 000	300 000	375 000	500 000

ILUSTRACIÓN 6 COSTO DE LOCALIZACION

Formule el problema de encontrar las localización de la plantas que minimicen el costo anual de transporte y localización, satisfaciendo las demandas, como un problema de programación lineal con variables enteras y resuélvalo con ayuda de un solver de su preferencia.

## SOLUCIÓN

En primer término se iniciara resolviendo esta problemática de forma manual y posteriormente se anexara al software Lingo 14.0 para evaluar los resultados.

- I. Este modelo tiene como objetivo minimizar los costos anuales de transporte y localización, satisfaciendo las demandas. De manera esquemática, el problema de transporte se puede representar de la siguiente forma:

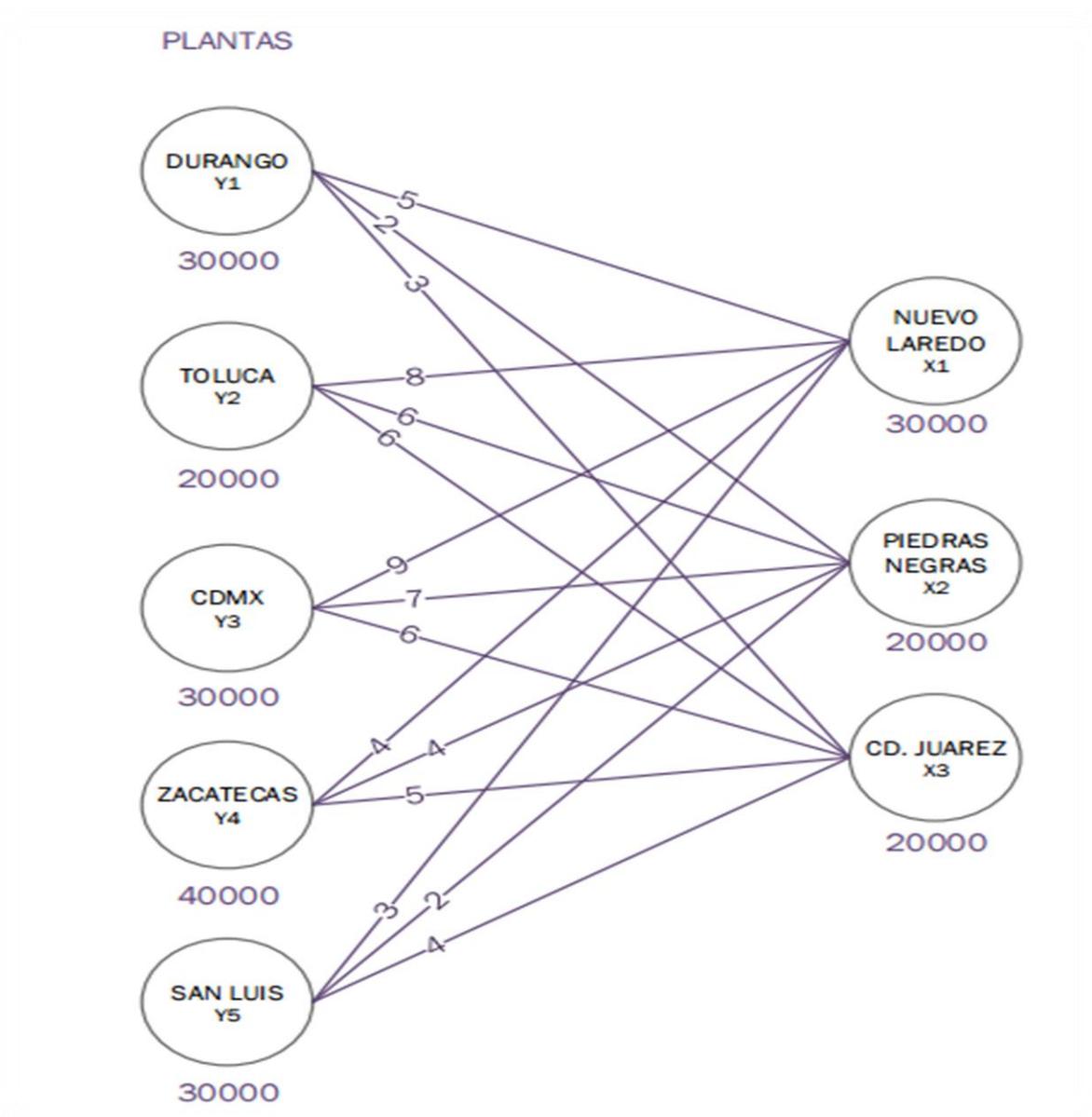


ILUSTRACIÓN 7 MODELO DE REDES



II. Declaración de variables de decisión

X= plantas que abastecen a las localidades

Y= costo total de cada planta

III. Ahora se interpretara la función objetivo para la minimización de los costos de transporte

**¡FUNCIÓN OBJETIVO**

$$\text{Min}=5*X_{11}+2*X_{12}+3*X_{13}$$

$$+8*X_{21}+6*X_{22}+6*X_{23}$$

$$+9*X_{31}+7*X_{32}+6*X_{33}$$

$$+4*X_{41}+4*X_{42}+5*X_{43}$$

$$+3*X_{51}+2*X_{52}+4*X_{53}$$

$$+175000*Y_1+300000*Y_2+375000*Y_3+500000*Y_4;$$

**En donde:**

$$X_{11}+x_{12}+x_{13} \longrightarrow \boxed{\text{DURANGO}}$$

$$X_{21}+x_{22}+x_{23} \longrightarrow \boxed{\text{TOLUCA}}$$

$$X_{31}+x_{32}+x_{33} \longrightarrow \boxed{\text{CDMX}}$$

$$X_{41}+x_{42}+x_{43} \longrightarrow \boxed{\text{ZACATECAS}}$$

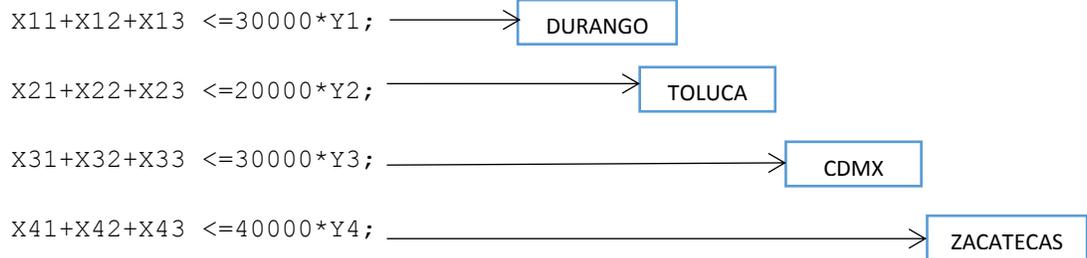
$$X_{51}+x_{52}+x_{53} \longrightarrow \boxed{\text{SAN LUIS}}$$

$$Y_1+y_2+y_3+y_4 \longrightarrow \boxed{\text{CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN}}$$

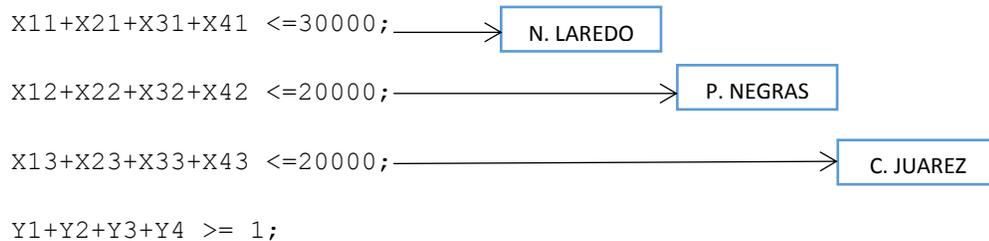
IV. Una vez ubicadas las funciones, procederemos a colocar las restricciones de capacidad del problema



### ! RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD;



### ! RESTRICCIÓN DE DEMANDA;



### V. Incorporándolo en Lingo de la siguiente manera:

```

Modelo de DEFENSAS PARA AUTOMOVILES;
Model:
Funcion objetivo;
Min=5*x11+2*x12+3*x13
+8*x21+6*x22+6*x23
+9*x31+7*x32+6*x33
+4*x41+4*x42+5*x43
+3*x51+2*x52+4*x53
+175000*Y1+300000*Y2+375000*Y3+500000*Y4;

Sujeto;
Restriccion de CAPACIDAD;
[DURAGO] x11+x12+x13 <=30000*Y1;
[TOLUCA] x21+x22+x23 <=20000*Y2;
[CDMX] x31+x32+x33 <=30000*Y3;
[ZACATECAS] x41+x42+x43 <=40000*Y4;

Restriccion de DEMANDA;
[NUEVOLAREDO] x11+x21+x31+x41 <=30000;
[PNEGRAS] x12+x22+x32+x42 <=20000;
[CDJUAREZ] x13+x23+x33+x43 <=20000;

Y1+Y2+Y3+Y4 >= 1;

End
  
```

Es importante resaltar que una vez que se tienen los datos listos para meter en el programa lingo, se debe colocar cuidadosamente los siguientes signos:

\* =indica multiplicación

;<= indica cierre de una determinada cantidad

! =Resalta las acciones a realizar

Model= apertura a el modelaje

End=cierre de modelaje

Estos signos son representativos y de uso obligatorio para que el programa funcione correctamente.



## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CALCULO DE VARIABLES				
DE	A	VARIABLE	VALOR	COSTO REDUCIDO
Durango	Nuevo Laredo	X11	0.000000	5.000.000
Durango	P. Negras	X12	0.000000	2.000.000
Durango	Cd Juárez	X13	0.000000	3.000.000
Toluca	Nuevo Laredo	X21	0.000000	8.000.000
Toluca	P. Negras	X22	0.000000	6.000.000
Toluca	Cd Juárez	X23	0.000000	6.000.000
CDMX	Nuevo Laredo	X31	0.000000	9.000.000
CDMX	P. Negras	X32	0.000000	7.000.000
CDMX	Cd Juárez	X33	0.000000	6.000.000
Zacatecas	Nuevo Laredo	X41	0.000000	4.000.000
Zacatecas	P. Negras	X42	0.000000	4.000.000
Zacatecas	Cd Juárez	X43	0.000000	5.000.000
San Luis	Nuevo Laredo	X51	0.000000	3.000.000
San Luis	P. Negras	X52	0.000000	2.000.000
San Luis	Cd Juárez	X53	0.000000	4.000.000

ILUSTRACIÓN 9 RESULTADOS DE LINGO #1

El costo de localización de las plantas será de \$175,000.00 pesos para satisfacer la demanda y bajar los costos de transporte y operación de las defensas de automóviles. Mientras tanto los costos de las plantas al inicio la suma de las 4 plantas es de \$1,350,000.00 pesos con el cálculo resuelto no da un total de las 4 plantas de \$650,000 pesos dando una diferencia total de \$700,000 pesos en las cuatro plantas de Durango, Toluca, CDMX y Zacatecas.

CONCLUSION DE COSTOS					
ANTES	PLANTA	VARIABLE	VALOR	REDUCIDO	DIFERENCIA
175000	Durango	Y1	1000000	0.000000	175000
300000	Toluca	Y2	0.000000	125000	175000
375000	CDMX	Y3	0.000000	200000	175000
500000	Zacatecas	Y4	0.000000	325000	175000
1,350,000	<b>TOTALES</b>			650,000	700,000

Ilustración 10 ANALISIS DE COSTOS #1



## EJERCICIO #2

Un fabricante de equipos de cómputo desea determinar la localización de las plantas que instalara para atender el mercado nacional. Para tal efecto ubico cuatro posibles localidades. La siguiente tabla muestra las capacidades de producción mensual, los costos de instalación (en los que se incurre una sola vez), y los costos de operación mensuales.

PLANTA	CAPACIDAD MENSUAL (COMPUTADORAS)	COSTO DE OPERACIONES	COSTO DE INSTALACIÓN
P1	1700	700 000	6 400 000
P2	2000	700 000	8 600 000
P3	1700	650 000	7 500 000
P4	2000	700 000	5 500 000

ILUSTRACIÓN 11 ANALISIS DE PLANTA #2

El fabricante contempla que las plantas atenderán cuatro mercados. La siguiente tabla muestra los costos unitarios de embarque (\$/computadoras) desde cada una de las plantas a cada uno de los mercados, así como la demanda mensual estimada.

PLANTA	M1	M2	M3	M4
P1	5	3	2	6
P2	4	7	8	10
P3	6	5	3	8
P4	9	8	6	5
DEMANDA	1 700	1 000	1 500	1 200

ILUSTRACIÓN 12 COSTOS UNITARIOS DE EMBARQUE

- Para cada una de las localidades calcule la amortización mensual necesaria para absorber los gastos de instalación, si la tasa de interés es de 2% mensual y la inversión se amortiza en 10 años.
- Formule el problema de encontrar la localización de las plantas que minimicen los costos mensuales de transporte (solo producto final), instalación y operación combinados común problema de programación lineal (entera).
- Resuelva el problema de programación entera usando el solver de su preferencia.
- Elabore un informe breve para el director del fabricante con sus recomendaciones, indique por enviar desde cada planta hacia cada uno de los mercados.

## SOLUCIÓN

En primer término se iniciara resolviendo esta problemática de forma manual y posteriormente se anexara al software Lingo 14.0 para evaluar los resultados.

- I. Este modelo tiene como objetivo minimizar los costos mensuales de transporte, instalación y operación para el abastecimiento de nuevas plantas. De manera esquemática, el problema de transporte se puede representar de la siguiente forma:

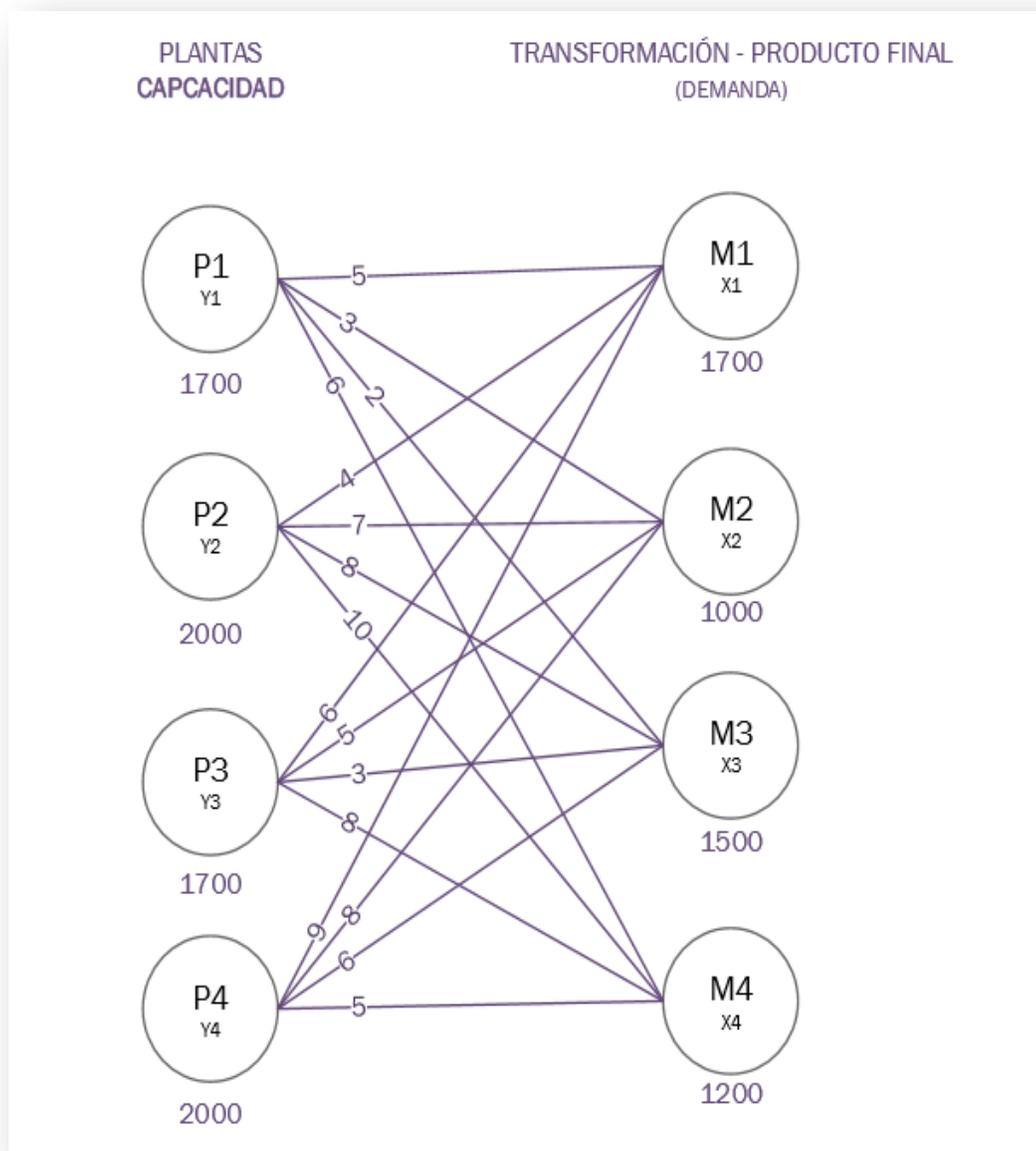


ILUSTRACIÓN 13 MODELO DE REDES #2



- II. El apartado A menciona que se tiene que amortizar los gastos de instalación, teniendo en cuenta que estos costos tienen una vida útil. Se pueden utilizar dos métodos para la resolución de la amortización, una es de forma manual para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

$$I = A \frac{1}{i} - \frac{1}{i(1+i)^n}$$

ILUSTRACIÓN 14 FORMULA DE AMORTIZACION

**En dónde:**

- I= amortización
- A= inversión
- i= porcentaje
- n= nuero de periodos

Y de la segunda manera en Excel: =PAGO (tasa, años, costo de instalación) estos, se le sumaran los costos de operación y el resultado total, será el que utilizaremos para realizar el ejercicio.

COSTO DE INSTALACIÓN	AMORTIZACIÓN	AMORTIZACIÓN	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO TOTAL
6400000	-\$712,489.78	712489.78	700000	1412489.78
8600000	-\$957,408.14	957408.14	700000	1657408.14
7500000	-\$834,948.96	834948.96	650000	1484948.96
5500000	-\$612,295.90	612295.9	700000	1312295.9

ILUSTRACIÓN 15 ANALISIS DE COSTOS #2

- III. Declaración de variables de decisión

**X<sub>ij</sub>**= donde la “i” (plantas) abastecerán a “j” (mercados)  
**Y<sub>i</sub>**= costo total de cada planta

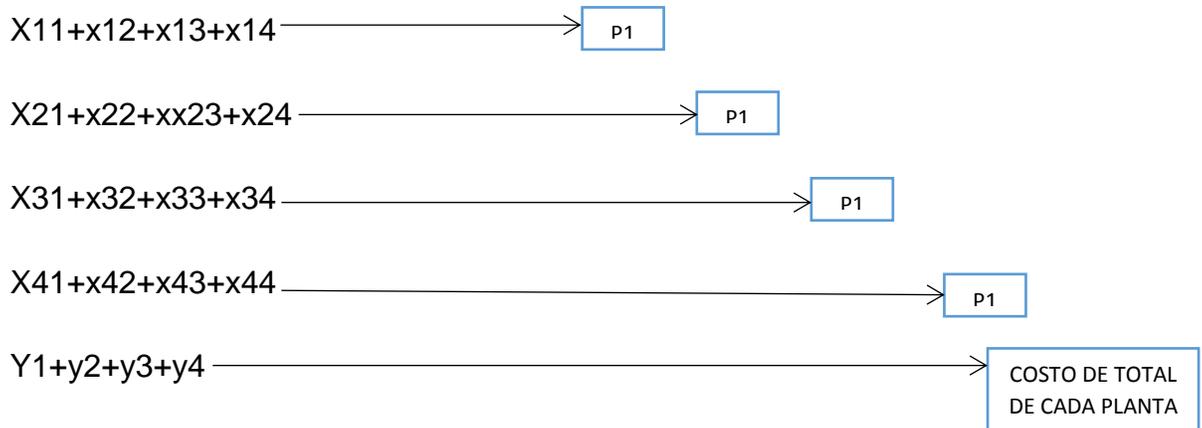
- IV. El problema consiste en minimizar los costos y determinar en donde se localizaran las nuevas plantas, puesto que, con las variables empezaremos a sumar los costos unitarios de embarque de las computadoras de cada planta con cada mercado, así como los costos total que resultan de cada planta para ello se planteara la función objetivo utilizando las variables:



### ! FUNCION OBJETIVO

$$\begin{aligned} \text{Min} = & 5x_{11} + 3x_{12} + 2x_{13} + 6x_{14} + \\ & 4x_{21} + 7x_{22} + 8x_{23} + 10x_{24} + \\ & 6x_{31} + 5x_{32} + 3x_{33} + 8x_{34} + \\ & 9x_{41} + 8x_{42} + 6x_{43} + 5x_{44} + \\ & 1412489.78*y_1 + 1657488.14*y_2 + 1484948.96*y_3 + 1312295.9*y_4; \end{aligned}$$

En donde:



- V. A continuación se efectuarán las restricciones en donde se tomarán la demanda y la capacidad de los mercados y de las plantas.

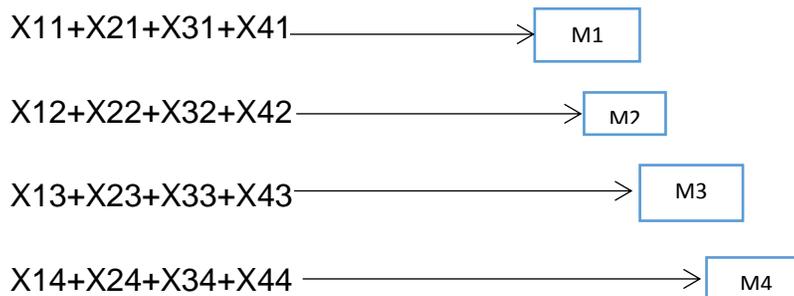
### SUJETO A:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} & \geq 1700; \\ X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} & \geq 1000; \\ X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} & \geq 1500; \\ X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} & \geq 1200, \\ X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} & \leq 1700*y_1; \\ X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} & \leq 2000*y_2; \\ X_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} & \leq 1700*y_3; \\ X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} & \leq 2000*y_4; \\ Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 & = 4 \end{aligned}$$



- Se coloca  $\geq$  debido a que la demanda puede incrementarse
- Se coloca  $\leq$  y se multiplica por el costo total, ya que se busca reducir el costo conforme a la capacidad de cada planta.
- Se toma 4, por lo que se están tomando 4 localidades como referencia.

**En donde:**



- VI. Para finalizar se aplica la restricción binarias de Y1, Y2, Y3 y Y4 esto nos ayudara a ver si las 4 opciones son optimas

*! RESTRICCIONES BINARIAS;*  
*@BIN(Y1);@BIN(Y2);@BIN(Y3);@BIN(Y4);*

- VII. Una vez que se tienen bien definidos todos estos puntos se procede a meter estos datos en el programa lingo, recordando que después de cada número va un asterisco que indica multiplicación de las diferentes variables, también se deben establecer las modalidades que el programa marca como la palabra "Model", poner signo de admiración antes de resaltar alguna operación y con la terminación "End" al final del ejercicio.



Es importante resaltar que una vez que se tienen los datos listos para meter en el programa lingo, se debe colocar cuidadosamente los siguientes signos:

\* =indica multiplicación

:=indica cierre de una determinada cantidad

! =Resalta las acciones a realizar

**Model**= apertura a el modelaje

**End**=cierre de modelaje

Estos signos son representativos y de uso obligatorio para que el programa funcione correctamente.

!Equipos de computo;

model:

!Funcion objetivo;

min=5\*x11+3\*x12+2\*x13+6\*x14+4\*x21+7\*x22+8\*x23+10\*x24+6\*x31+5\*x32+3\*x33+8\*x34+9\*x41+8\*x42+6\*x43+5\*x44+1412489.78\*y1+1657408.14\*y2+1484948.96\*y3+1312295.9\*y4;

!sujeto a;

x11+x21+x31+x41>=1700;

x12+x22+x32+x42>=1000;

x13+x23+x33+x43>=1500;

x14+x24+x34+x44>=1200;

x11+x12+x13+x14<=1700\*y1;

x21+x22+x23+x24<=2000\*y2;

x31+x32+x33+x34<=1700\*y3;

x41+x42+x43+x44<=2000\*y4;

y1+y2+y3+y4<4;

!restricciones binarias;

@bin ( y1 ) ;@bin ( y2 ) ;@bin ( y3 ) ;@bin ( y4 ) ;

end

ILUSTRACIÓN 16 LINGO #2



## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Cuando tomamos en cuenta la amortización a 10 años con una tasa de 2% se modificó el costo total esto se debió a que las computadoras tienen una amortización para efectos contables. Es así como que do la tabla con el costo ya incluida la amortización:

PLANTA	CAPACIDAD MENSUAL (COMPUTADORAS)	COSTO DE OPERACIONES	COSTO DE INSTALACIÓN
P1	1700	700 000	6 400 000
P2	2000	700 000	8 600 000
P3	1700	650 000	7 500 000
P4	2000	700 000	5 500 000

ILUSTRACIÓN 17 RESULTADOS LINGO #2

A continuación se muestra la tabla de las variables y su comportamiento que tuvo para satisfacer la demanda de los mercados por parte de las plantas:

PLANTAS	MERCADO	COSTOS UNITARIOS	VARIABLE	VALOR	COSTO REDUCIDO
PLANTA 1	MERCADO 1	5	X11	700	0
	MERCADO 2	3	X12	1000	0
	MERCADO 3	2	X13	0	0
	MERCADO 4	6	X14	0	5
PLANTA 2	MERCADO 1	4	X21	0	0
	MERCADO 2	7	X22	0	5
	MERCADO 3	8	X23	0	7
	MERCADO 4	10	X24	0	10
PLANTA 3	MERCADO 1	6	X31	200	0
	MERCADO 2	5	X32	0	1
	MERCADO 3	3	X33	1500	0
	MERCADO 4	8	X34	0	6
PLANTA 4	MERCADO 1	9	X41	800	0
	MERCADO 2	8	X42	0	1
	MERCADO 3	6	X43	0	0
	MERCADO 4	5	X44	1200	0
<b>DEMANDA</b>				<b>5400</b>	

ILUSTRACIÓN 18 ANALISIS DE COSTOS #2



Se muestra que la planta 1 abasteció al mercado 1 con 700, y al mercado 3 con 1000 de demanda estimada mensual. Mientras que la planta 2 no tuvo movimientos. Pero la planta 3 abasteció al mercado 1 con 200 computadoras mensuales, y al mercado 3 con 1500. Y por último la planta 4 abasteció al mercado 1 con 800 unidades y al mercado 4 con 1200 unidades.

- Es así como entonces podemos observar los costos de operación e instalación con la amortización ya calculada.
- El costo de localización de las plantas será de \$4, 235,135.00 pesos para satisfacer la demanda y bajar los costos de instalación y operación para las unidades de computadoras.

Mientras tanto los costos de las plantas al inicio la suma de las 4 plantas es de \$5, 867,222.78 pesos con el cálculo resuelto no da un total de las 4 plantas de \$5, 845,243.00 pesos dando una diferencia total de \$21,979.78 pesos en las cuatro plantas.

<b>CONCLUSIÓN DE COSTOS</b>					
<b>ANTES</b>	<b>PLANTAS</b>	<b>VARIABLE</b>		<b>REDUCIDO</b>	<b>DIFERENCIA</b>
\$ 1,412,489.78	1	Y1	1	\$ 1,405,690.00	\$ 6,799.78
\$ 1,657,488.14	2	Y2	0	\$ 1,647,408.00	\$ 10,080.14
\$ 1,484,948.96	3	Y3	1	\$ 1,479,849.00	\$ 5,099.96
\$ 1,312,295.90	4	Y4	1	\$ 1,312,296.00	-\$ 0.10
\$ 5,867,222.78	<b>TOTALES</b>			\$ 5,845,243.00	<b>\$ 21,979.78</b>

ILUSTRACIÓN 19 ANALISIS DE COSTOS



### EJERCICIO #3

Un fabricante de televisores desea determinar la localización para las plantas de ensamble que atenderán el mercado nacional. En la actualidad la casi totalidad de las partes se importan, por lo que el fabricante cuenta con tres bodegas ubicadas en Mexicali, Toluca y Matamoros Respectivamente.

A continuación se muestran los costos de transporte (por cada juego de piezas para armar un televisor) desde los almacenes a las plantas potenciales (se exploran Guadalajara, Tijuana, Monterrey y la Ciudad de México), así como las capacidad desde producción mensual y los costos (mensuales) que generara la operación y la instalación de dichas plantas.

PLANTA	CAPACIDAD MENSUAL (TELEVISORES)	COSTO MENSUAL (GASTOS DE INSTALACIÓN Y DEOPERACION)
Guadalajara	1700	140000
Tijuana	2000	140000
Monterrey	1700	130000
Ciudad de México	2000	140000

ILUSTRACIÓN 20 ANALIS DE PLANTAS #3

TABLA 2 DESTINO COSTO DE TRANSPORTE			
PLANTA	MEXICALI	TOLUCA	MATAMAROS
Guadalajara	7	4	10
Tijuana	4	8	6
Monterrey	7	8	5
Ciudad de México	10	2	7
<b>CAPACIDAD</b>	700	900	450

ILUSTRACIÓN 21 ANALISIS DE LOCALIZACION DE PLANTA

El fabricante contempla que las plantas en México atenderán cuatro mercados potenciales. La siguiente tabla muestra los costos unitarios de embarque (\$/televisores) desde cada una de las plantas a cada uno de los mercados, así como la demanda mensual estimada. Formule el problema.

TABLA 3 DESTINO COSTO DE TRANSPORTE				
PLANTA	CDMEX	PUEBLA	MERIDA	MONTERREY
Guadalajara	5	3	2	6
Tijuana	4	7	8	10
Monterrey	6	5	3	8
Ciudad de México	9	8	6	5
<b>CAPACIDAD</b>	1700	1000	1500	1200

ILUSTRACIÓN 22 ANALISIS DE CAPACIDAD #3

## SOLUCIÓN

En primer término se iniciara resolviendo esta problemática de forma manual y posteriormente se anexara al software Lingo 14.0 para evaluar los resultados.

- I. Este modelo tiene como objetivo minimizar los costos de transporte, instalación y operación para satisfacer la demanda. De manera esquemática, el problema de transporte se puede representar de la siguiente forma:

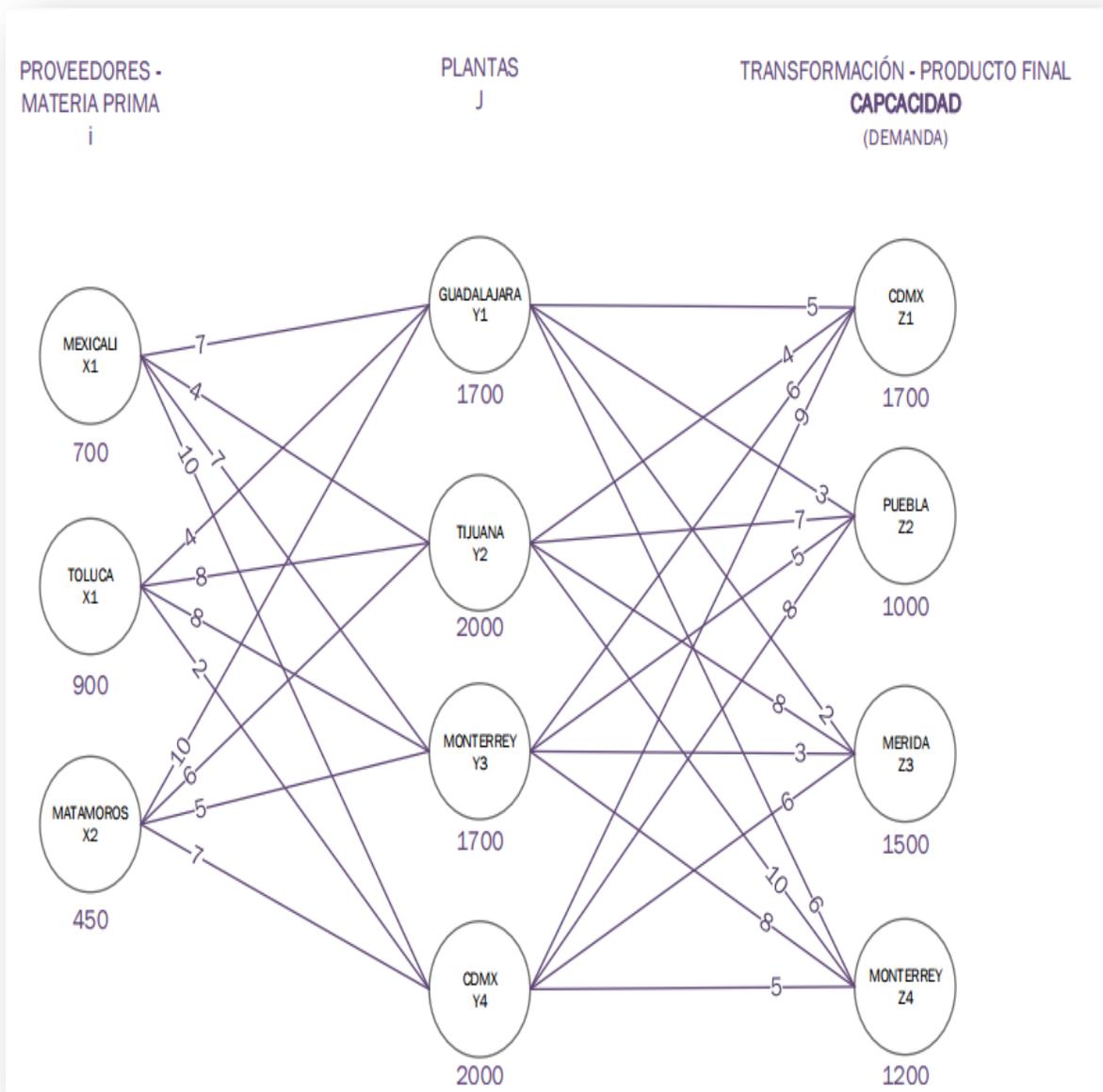


ILUSTRACIÓN 23 MODELO DE REDES #3



II. Declaración de variables de decisión.

**X<sub>ij</sub>**: Es la cantidad de televisores que se enviarán desde la bodega i (Mexicali, Toluca, Matamoros) hacia la planta j (Guadalajara, Tijuana, Monterrey, DF)

**Z<sub>ij</sub>**: Es la cantidad de televisores que se enviarán desde la planta i (Guadalajara, Tijuana, Monterrey, DF) hacia el centro de demanda j (México, Puebla, Mérida, Monterrey).

**Y<sub>i</sub>**: Es la cantidad de plantas que se van a construir para facilitar el envío de televisores al cliente final (1, 2, 3,4).

III. El siguiente paso es determinar la función objetivo del ejercicio (maximizar o minimizar) acorde a las respectivas necesidades del caso de estudio, para este ejercicio es minimizar debido a que el objetivo de los fabricantes es reducir los costos eligiendo las rutas adecuadas de desplazamiento para su respectivo transporte de televisores.

**! FUNCION OBJETIVO**

$$\begin{aligned} \text{Min} = & 7x_{11} + 4x_{12} + 7x_{13} + 10x_{14} \\ & + 4x_{21} + 8x_{22} + 8x_{23} + 2x_{24} \\ & + 10x_{31} + 6x_{32} + 5x_{33} + 7x_{34} \\ & + 5z_{11} + 3z_{12} + 2z_{13} + 6z_{14} \\ & + 4z_{21} + 7z_{22} + 8z_{23} + 10z_{24} \\ & + 6z_{31} + 5z_{32} + 3z_{33} + 8z_{34} \\ & + 9z_{41} + 8z_{42} + 6z_{43} + 5z_{44} \\ & + 140000y_1 + 140000y_2 + 130000y_3 + 140000y_4; \end{aligned}$$

**En donde:**

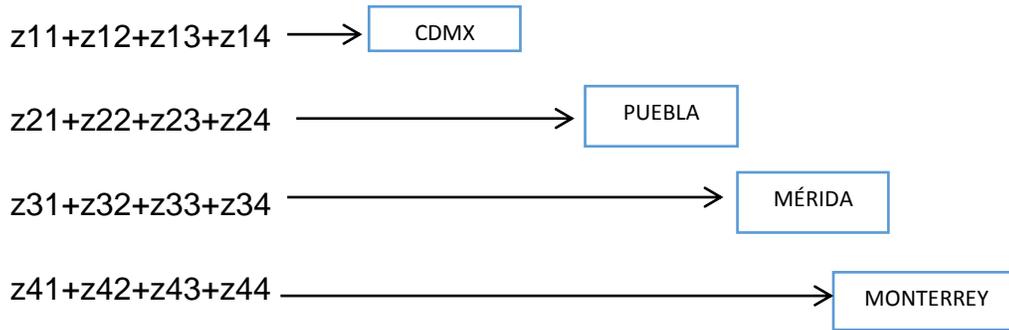
$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \longrightarrow \boxed{\text{MEXICALI}}$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} \longrightarrow \boxed{\text{TOLUCA}}$$

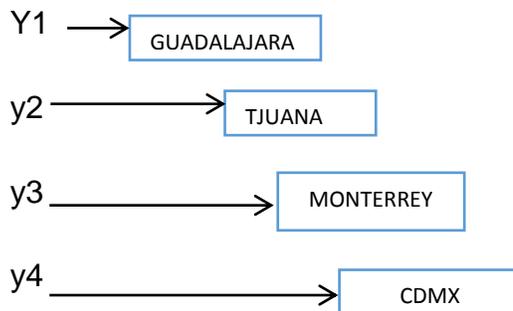
$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} \longrightarrow \boxed{\text{MATAMOROS}}$$



A continuación la parte de las  $z$  hacia los mercados potenciales que menciona en la tabla.



Con la definición de las  $Y$  colocaremos el indicador de los costos de las plantas que son los gastos de instalación y de operación:



- IV. El siguiente paso consiste en establecer las restricciones que marca la información otorgada (De capacidad, De plantas y De demanda), La importancia de establecer estas restricciones radica en que el programa Lingo lo marca como parámetro para arrojar resultados no mayores ni menores a lo que la empresa necesita para poder cumplir con el objetivo de reducción de costos entregando al cliente la cantidad adecuada de televisores que requiere en tiempo y forma.



La suma de las diferentes variables no deben rebasar ni quedarse por detrás de lo que la empresa requiere, por ello es que cada una de estas sumas deben estar sujetas a una restricción ya sea menor o bien mayor igual a una cantidad determinada.

### **SUJETO A:**

#### ***RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD:***

$$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}=700;$$

$$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}=900;$$

$$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}=450;$$

$$z_{11}+z_{12}+z_{13}+z_{14}=1700*y_1;$$

$$z_{21}+z_{22}+z_{23}+z_{24}=2000*y_2;$$

$$z_{31}+z_{32}+z_{33}+z_{34}=1700*y_3;$$

$$z_{41}+z_{42}+z_{43}+z_{44}=2000*y_4;$$

- En la Tabla menciona las capacidades de almacén para envío de los televisores de Guadalajara, Tijuana, Monterrey y Ciudad de México
- Lo mismo sucede con la capacidad de planta que menciona la tabla y que nos muestra su capacidad de Guadalajara, Tijuana, Monterrey a Ciudad de México.

#### **RESTRICCIÓN DE LA DEMANDA;**

$$z_{11}+z_{21}+z_{31}+z_{41}\geq 1700;$$

$$z_{12}+z_{22}+z_{32}+z_{42}\geq 1000;$$

$$z_{13}+z_{23}+z_{33}+z_{43}\geq 1500;$$

$$z_{14}+z_{24}+z_{34}+z_{44}\geq 1200;$$

- La tabla muestra la demanda de los mercados potenciales que ofrecerá a Guadalajara, Tijuana, Monterrey a Ciudad de México esta pueden ser mayor a las destinadas



### RESTRICCIÓN DE PLANTA:

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 \leq 4;$$

- Se determina la localización de las plantas de Guadalajara, Tijuana, Monterrey a Ciudad de México que pueden ser menor a 4 como se muestra en la ecuación siguiente

V. Una vez que se tienen bien definidos todos estos puntos se procede a meter estos datos en el programa lingo, recordando que después de cada número va un asterisco que indica multiplicación de las diferentes variables, también se deben establecer las modalidades que el programa marca como la palabra “Model”, poner signo de admiración antes de resaltar alguna operación y con la terminación “end” al final del ejercicio.

```
!Problema envío de televisores;
model:
!Funcion objetivo;
min=7*x11+4*x12+7*x13+10*x14+4*x21+8*x22+8*x23+2*x24+10*x31+6*x32+5*x33
+7*x34+5*z11+3*z12+2*z13+6*z14+4*z21+7*z22+8*z23+10*z24+6*z31+5*z32+3*z33+8*z34+9*z41
+8*z42+6*z43+5*z44+140000*y1+140000*y2+130000*y3+140000*y4;
!Sujeto a;
!restriccion de capacidad de almacen para envío de partes;
x11+x12+x13+x14=700;
x21+x22+x23+x24=900;
x31+x32+x33+x34=450;
!restriccion de capacidad de planta;
z11+z12+z13+z14<=1700*y1;
z21+z22+z23+z24<=2000*y2;
z31+z32+z33+z34<=1700*y3;
z41+z42+z43+z44<=2000*y4;
!restriccion de demanda;
z11+z21+z31+z41>=1700;
z12+z22+z32+z42>=1000;
z13+z23+z33+z43>=1500;
z14+z24+z34+z44>=1200;
!restriccion de asignacion;
y1+y2+y3+y4<=4;
@bin(y1);@bin(y2);@bin(y3);@bin(y4);
end
```



## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se muestra en la siguiente tabla las variables y el comportamiento que sufrieron para atender la demanda:

<b>Cálculo de las variables</b>				
<b>DE</b>	<b>A</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>	<b>COSTO REDUCIDO</b>
MEXICALI	GUADALAJARA	X11	0	3
MEXICALI	TIJUANA	X12	700	0
MEXICALI	MONTERREY	X13	0	3
MEXICALI	CD. MÉXICO	X14	0	6
TOLUCA	GUADALAJARA	X21	0	2
TOLUCA	TIJUANA	X22	0	6
TOLUCA	MONTERREY	X23	0	6
TOLUCA	CD. MÉXICO	X24	900	0
MATAMOROS	GUADALAJARA	X31	0	5
MATAMOROS	TIJUANA	X32	0	1
MATAMOROS	MONTERREY	X33	450	0
MATAMOROS	CD. MÉXICO	X34	0	2
CD. MÉXICO	GUADALAJARA	Z11	0	500
PUEBLA	TIJUANA	Z12	500	0
MERIDA	MONTERREY	Z13	0	1
MONTERREY	CD. MÉXICO	Z14	1200	0
CD. MÉXICO	GUADALAJARA	Z21	1700	0
PUEBLA	TIJUANA	Z22	300	0
MERIDA	MONTERREY	Z23	0	3
MONTERREY	CD. MÉXICO	Z24	0	0
CD. MÉXICO	GUADALAJARA	Z31	0	4
PUEBLA	TIJUANA	Z32	200	0
MERIDA	MONTERREY	Z33	1500	0
MONTERREY	CD. MÉXICO	Z34	0	0
CD. MÉXICO	GUADALAJARA	Z41	0	10
PUEBLA	TIJUANA	Z42	0	6
MERIDA	MONTERREY	Z43	0	6
MONTERREY	CD. MÉXICO	Z44	0	0



El costo de localización de las plantas será de \$439,950.00 pesos para satisfacer la demanda y bajar los costos de transporte y operación para las piezas de televisores

Mientras tanto los costos de las plantas al inicio la suma de las 4 plantas es de \$550,000.00 pesos con el cálculo resuelto no da un total de las 4 plantas de \$529,000.00 pesos dando una diferencia total de \$20,200.00 pesos en las cuatro plantas de Guadalajara, Tijuana, Monterrey y Ciudad de México

<b>ANALISIS DE COSTOS</b>					
ANTES	PLANTAS	VARIABLE		REDUCIDO	DIFERENCIA
\$140,000	GUADALAJARA	Y1	1	\$133,200	\$6,800
\$140,000	TIJUANA	Y2	1	\$140,000	-
\$130,000	MONTERREY	Y3	1	\$126,600	\$3,400
\$140,000	CDMX	Y4	0	\$130,000	\$10,000
\$550,000	<b>TOTALES</b>			\$529,800	\$20,200

ILUSTRACIÓN 26 REDUCCION DE COSTOS #3



## EJERCICIO #4

El Grupo Indument desea localizar una o dos plantas para la producción de Refractarios a partir de magnesita, habiendo determinado como posibles localidades para las plantas a San Luis Potosí y Zacatecas. La materia prima proviene de dos yacimientos ubicados en Oaxaca y Zacatecas. El producto final (ladrillos refractarios) se demanda en plantas ubicada Torreón y Monterrey, además que podrá exportarse a través de los puertos de la materia prima (en miles de \$ por envío de 50 ton), así como las ofertas máximas anuales (en ton), desde los yacimientos hacia las posibles localidades, para las plantas se resumen en la siguiente tabla.

<b>ORIGEN</b>	<b>DESTINO SAN LUIS P.</b>	<b>ZACATECAS</b>	<b>OFERTA</b>
OAXACA	6	7	8000
ZACATECAS	2	0	13000

ILUSTRACIÓN 27 ANALISIS DE PLANTA #4

En la siguiente tabla se muestran los costos de transporte (en miles de \$ por envío de 50 ton) del producto final hacia los centros de demanda, así como la demanda anual estimada.

<b>ORIGEN</b>	<b>DESTINO TORREÓN</b>	<b>MONTERREY</b>	<b>SALINAS CRUZ</b>	<b>TAMPICO</b>
SAN LUIS P.	2	3	9	4
ZACATECAS	2	5	8	5
DEMANDA (TON)	1500	2000	1500	2000

ILUSTRACIÓN 28 ANALISIS DE PLANTA #4



La empresa desea explorar las posibilidades de instalar una empresa grande, o dos medianas en las localidades seleccionadas, por lo que calcula los costos de instalación y operación bajo los escenarios que se muestran a continuación.

ESCENARIOS	CAPACIDAD (TON/AÑO)	COSTO DE INSTALACION (MILES \$)	COSTO DE OPERACIÓN (MILES \$/AÑO)
SAN LUIS P. (1)	8000	10 000	800
SAN LUIS P. (2)	4000	6 000	500
ZACATECAS (3)	8000	12 000	900
ZACATECAS (4)	4000	6 500	550

ILUSTRACIÓN 29 CAPACIDADES Y COSTOS #4

- A) Calcular la Amortización anual de los costos de instalación para cada uno de los escenarios propuestos, considere una tasa de interés de 20% anual y 15 años de vida útil de inversión.
- B) Formule el problema de programación lineal (con variables enteras) para explorar si conviene una o dos plantas, y la política de distribución que minimice los costos de instalación, operación y transporte (considere insumos y producto terminado), sabiendo que una ton de magnesita produce 0.95 ton de producto terminado (en promedio). La formulación debe incluir: definición de variables de decisión, función objetivo, restricciones y rangos de existencia.
- C) Resuelva el problema de programación lineal mediante el Solver de su preferencia

## SOLUCIÓN

En primer término se iniciara resolviendo esta problemática de forma manual y posteriormente se anexara al software Lingo 14.0 para evaluar los resultados.

- I. Este modelo tiene como objetivo minimizar los costos mensuales de trasporte, instalación y operación. De manera esquemática, el problema de transporte se puede representar de la siguiente forma:

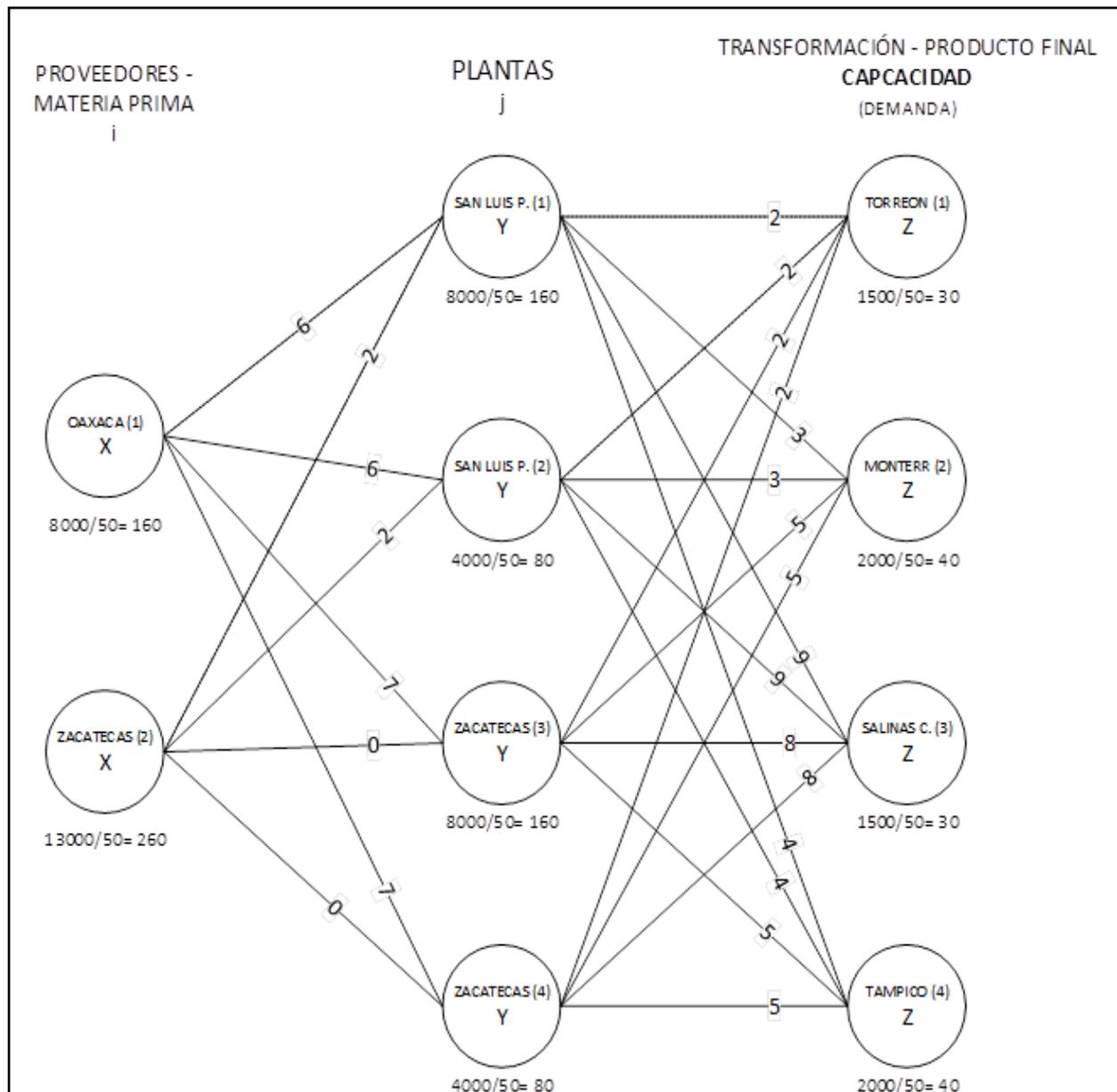


ILUSTRACIÓN 30 MODELO DE REDES #4



II. Declaración de variables de decisión que la empresa desea tomar de referencia a la cantidad de puertas y ventanas de cada tipo a producir en el período considerado.

**X1** = cantidad de insumos del proveedor de Oaxaca.

**X2** = cantidad de insumos del proveedor de Zacatecas

III. A continuación se determina la disponibilidad de recursos para la cantidad de insumos utilizados en la producción total, no puede exceder la cantidad máxima que la empresa puede adquirir:

(1) San Luis Potosí → cantidad máxima es de  $8000 / 50$  (ton) = 160

(2) San Luis Potosí → cantidad máxima es de  $4000 / 50$  (ton) = 80

(3) Zacatecas → cantidad máxima es de  $8000 / 50$  (ton) = 160

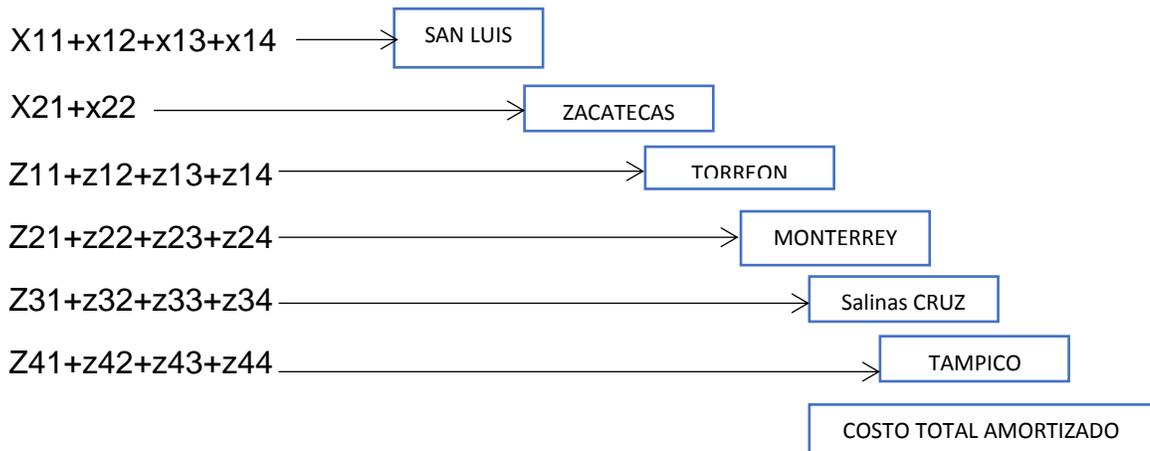
(4) Zacatecas → cantidad máxima es de  $8000 / 50$  (ton) = 80

IV. Ahora se determinara la función objetivo

**! FUNCION OBJETIVO**

$$\begin{aligned} \text{Min} &= 6x_{11} + 6x_{12} + 7x_{13} + 7x_{14} + 2x_{21} + 2x_{22} \\ &+ 2z_{11} + 2z_{12} + 2z_{13} + 2z_{14} \\ &+ 3z_{21} + 3z_{22} + 5z_{23} + 5z_{24} \\ &+ 9z_{31} + 9z_{32} + 8z_{33} + 8z_{34} \\ &+ 4z_{41} + 4z_{42} + 5z_{43} + 5z_{44} \\ &+ 975.63y_1 + 605.38y_2 + 1110.76y_3 + 664.16y_4 \end{aligned}$$

**En donde:**





$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \longrightarrow$$

- V. Una vez obtenida la función objetivo analicemos las restricciones de cada apartado, así como de oferta, capacidad, demanda, y demanda de insumo, obteniéndolo de la siguiente forma:

**SUJETO A:**

**! RESTRICCIÓN DE OFERTA**

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \leq 160$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} \leq 260$$

Oaxaca  
Zacatecas

**! RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD**

$$Z_{11} + Z_{12} + Z_{13} + Z_{14} \geq 30$$

$$Z_{21} + Z_{22} + Z_{23} + Z_{24} \geq 40$$

$$Z_{31} + Z_{32} + Z_{33} + Z_{34} \geq 30$$

$$Z_{41} + Z_{42} + Z_{43} + Z_{44} \geq 40$$

Torreón  
Monterrey  
Salinas  
Tampico

**! RESTRICCIÓN DE DEMANDA**

$$Z_{11} + Z_{21} + Z_{31} + Z_{41} \leq 160 \cdot Y_1$$

$$Z_{12} + Z_{22} + Z_{32} + Z_{42} \leq 80 \cdot Y_2$$

$$Z_{13} + Z_{23} + Z_{33} + Z_{43} \leq 160 \cdot Y_3$$

$$Z_{14} + Z_{24} + Z_{34} + Z_{44} \leq 80 \cdot Y_4$$

San Luis  
San Luis  
Zacatecas  
Zacatecas

**! RESTRICCIÓN DE DEMANDA DE INSUMO**

$$0.95(Z_{11} + Z_{12} + Z_{13} + Z_{14}) = X_{11} + X_{21}$$

$$0.95(Z_{21} + Z_{22} + Z_{23} + Z_{24}) = X_{12} + X_{22}$$

$$0.95(Z_{31} + Z_{32} + Z_{33} + Z_{34}) = X_{13} + X_{23}$$

$$0.95(Z_{41} + Z_{42} + Z_{43} + Z_{44}) = X_{14} + X_{24}$$

**! RESTRICCIÓN DE PLANTA**

$$Y_1 + Y_2 \leq 2;$$

San Luis  
Zacatecas



$$Y3+Y4 \leq 2;$$

VI. Incorporando los datos a lingo

!modelo de PRODUCCION DE REFRACTARIOS;

model:

!funcion objetivo;

$$\begin{aligned} \text{MIN} = & 6 * x_{11} + 6 * x_{12} + 7 * x_{13} + 7 * x_{14} + 2 * x_{21} + 2 * x_{22} + 0 * x_{23} + 0 \\ & + 2 * z_{11} + 2 * z_{12} + 2 * z_{13} + 2 * z_{14} \\ & + 3 * z_{21} + 3 * z_{22} + 5 * z_{23} + 5 * z_{24} \\ & + 9 * z_{31} + 9 * z_{32} + 8 * z_{33} + 8 * z_{34} \\ & + 4 * z_{41} + 4 * z_{42} + 5 * z_{43} + 5 * z_{44} \\ & + 975.63 * y_1 + 605.38 * y_2 + 1110.76 * y_3 + 664.16 * y_4; \end{aligned}$$

!sujeto a;

!restriccion de OFERTA;

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \leq 160;$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} \leq 260;$$

!restriccion de CAPACIDAD;

$$Z_{11} + Z_{12} + Z_{13} + Z_{14} \geq 30;$$

$$Z_{21} + Z_{22} + Z_{23} + Z_{24} \geq 40;$$

$$Z_{31} + Z_{32} + Z_{33} + Z_{34} \geq 30;$$

$$z_{41} + z_{42} + z_{43} + z_{44} \geq 40;$$

!restriccion de DEMANDA;

$$Z_{11} + Z_{21} + Z_{31} + Z_{41} \leq 160 * Y_1;$$

$$Z_{12} + Z_{22} + Z_{32} + Z_{42} \leq 80 * Y_2;$$

$$Z_{13} + Z_{23} + Z_{33} + Z_{43} \leq 160 * Y_3;$$

$$Z_{14} + Z_{24} + Z_{34} + Z_{44} \leq 80 * Y_4;$$

!restriccion de DEMANDA de INSUMO;

$$0.95 * Z_{11} + 0.95 * Z_{12} + 0.95 * Z_{13} + 0.95 * Z_{14} = X_{11} + X_{21};$$

$$.95 * Z_{21} + 0.95 * Z_{22} + 0.95 * Z_{23} + 0.95 * Z_{24} = X_{12} + X_{22};$$

$$0.95 * Z_{31} + 0.95 * Z_{32} + 0.95 * Z_{33} + 0.95 * Z_{34} = X_{13} + X_{23};$$

$$0.95 * Z_{41} + 0.95 * Z_{42} + 0.95 * Z_{43} + 0.95 * Z_{44} = X_{14} + X_{24};$$

$$Y_1 + Y_2 \leq 2;$$

$$Y_3 + Y_4 \leq 2;$$

end|



## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestra la tabla de las variables y su comportamiento que tuvo para satisfacer la demanda de los mercados por parte de las plantas así como de los proveedores:

PROVEEDOR 1 OAXACA	VARIABLE	VALOR	PROVEEDOR 2 ZACATECAS	VALOR	VALOR
6	X11	0	2	X21	28,5
6	X12	0	2	X22	38
7	X13	0	0	X23	28,5
7	X14	0	0	X24	38

PLANTAS	MERCADO	COSTOS UNITARIOS	VARIABLE	VALOR	COSTO REDUCIDO
PLANTA 1 SAN LUIS P.	TORREON	2	Z11	30	0
	MONTERREY	3	Z12	0	0
	SALINAS	9	Z13	0	1
	TAMPICO	4	Z14	0	1
PLANTA 2 SAN LUIS P.	TORREON	2	Z21	40	0
	MONTERREY	3	Z22	0	0
	SALINAS	9	Z23	0	3
PLANTA 3 ZACATECAS	TAMPICO	4	Z24	0	3
	TORREON	2	Z31	30	0
	MONTERREY	5	Z32	0	0
PLANTA 4 ZACATECAS	SALINAS	8	Z33	0	0
	TAMPICO	5	Z34	0	0
	TORREON	2	Z41	40	0
	MONTERREY	5	Z42	0	0
PLANTA 4 ZACATECAS	SALINAS	8	Z43	0	2
	TAMPICO	5	Z44	0	2
<b>DEMANDA</b>				<b>140</b>	

Los proveedores

ILUSTRACIÓN 32 REDUCCION DE COSTOS LINGO #4

satisfarán



a las plantas 133 toneladas con el proveedor de zacatecas que este a su vez dará 28.5 toneladas a la planta de San Luis Potosí 1, 38 toneladas a la planta de San Luis Potosí 2, 28.5 toneladas a la planta de Zacatecas 1 y por ultimo 38 toneladas a la planta de Zacatecas 2.

Mientras tanto las plantas satisfarán la demanda a los CEDIS: de Torreón con 30 de la planta de San Luis Potosí 1, 40 de la Planta de San Luis Potosí 2, 30 de la planta de Zacatecas 1 y 40 de la planta de Zacatecas 2.

Es así como entonces podemos observar los costos de operación e instalación con la amortización ya calculada

<b>CONCLUSIÓN DE COSTOS</b>					
<b>ANTES</b>	<b>PLANTAS</b>	<b>VARIABLE</b>		<b>REDUCIDO</b>	<b>DIFERENCIA</b>
\$ 975.63	PLANTA 1 SAN LUIS P.	Y1	1	\$ 975.63	\$ -
\$ 605.38	PLANTA 2 SAN LUIS P.	Y2	0	\$ 605.38	\$ -
\$ 1,110.76	PLANTA 3 ZACATECAS	Y3	0	\$ 950.76	\$ 160.00
\$ 664.16	PLANTA 4 ZACATECAS	Y4	0	\$ 584.16	\$ 80.00
\$ 3,355.93	<b>TOTALES</b>			\$ 3,115.93	<b>\$ 240.00</b>

ILUSTRACIÓN 33 DIFERENCIA DE COSTOS #4

El costo de localización de las plantas será de \$1718.63 pesos para satisfacer la demanda y bajar los costos de instalación y operación para las toneladas enviadas.

Mientras tanto los costos de las plantas al inicio la suma de las 4 plantas es de \$3,355.93 pesos con el cálculo resuelto no da un total de las 4 plantas de \$3,115.93 pesos dando una diferencia total de \$240.00 pesos en las cuatro plantas.



## EJERCICIO #5

Aceros Industriales incursiono con éxito en la producción de aceros especiales para la industria. En este momento tiene una sola planta en Ciudad de México con una capacidad de producción de 5000 toneladas anuales Debido a un aumento de la demanda y en los costos de transporte estudia la posibilidad de abrir nuevas plantas y diseñar un nuevo sistema de distribución, en particular, se están considerando las localidades de Puebla, Monterrey y Zacatecas como candidatas a ubicar nuevas plantas. La siguiente tabla muestra las capacidades (en ton), los costos de transporte (en miles de \$ por cada envío de 50 ton), y las demandas (en ton) para el siguiente año

### DESTINO (COSTO DE TRANSPORTE)

ORIGEN	CDMX	GUADALAJARA	SAN LUIS	PUEBLA	SONORA	CAPACIDADES
CDMX	0	8	4	1	10	5000
PUEBLA	1	9	3	0	11	12000
ZACATECAS	6	4	1	7	3	12000
MONTERREY	7	12	5	8	4	12000
DEMANDA	2000	5000	4000	6000	4000	

ILUSTRACIÓN 34 COSTOS DE TRANSPORTE #5

Además de los costos de transporte de producto final, la empresa debe considerar los costos de instalación operación y de transporte de insumos (fundamentalmente chatarra que debe transportarse desde los puertos de Manzanillo y Tampico). En la siguiente tabla se muestra los costos de transporte (en miles de \$ por envío de 50 ton) el costo de instalación (desembolso único en miles de \$) y los costos de operación (en miles de \$ por año)



### DESTINO (COSTO DE TRANSPORTE)

ORIGEN	CDMX	PUEBLA	ZACATECAS	MONTERREY	OFERTA MAXIMA (TON AL AÑO)
MANZANILLO	6	7	5	8	15000
TAMPICO	4	5	4	1	20000
COSTO INST		24000	21000	28000	
COSTO OPER		12000	9000	11000	

ILUSTRACIÓN 35 COSTOS DE TRANSPORTE DE PLANTAS #5

- Calcule la amortización anual del costo de instalación para cada una de las localidades candidatas para localizar una planta, considere una tasa de interés de 15% anual y 10 años de vida útil de la inversión
- Formule el problema de programación para encontrar las localizaciones más convenientes de las plantas y la política de distribución que minimicen simultáneamente los costos de instalación, operación y transporte (de insumos y producto terminal) si un ton de chatarra produce 0.95 ton de producto terminal de promedio
- Resolver el problema con el solver de su preferencia

## SOLUCION

En primer término se iniciara resolviendo esta problemática de forma manual y posteriormente se anexara al software Lingo 14.0 para evaluar los resultados.

- I. Este modelo tiene como objetivo minimizar los costos mensuales de transporte, instalación y operación. De manera esquemática, el problema de transporte se puede representar de la siguiente forma:

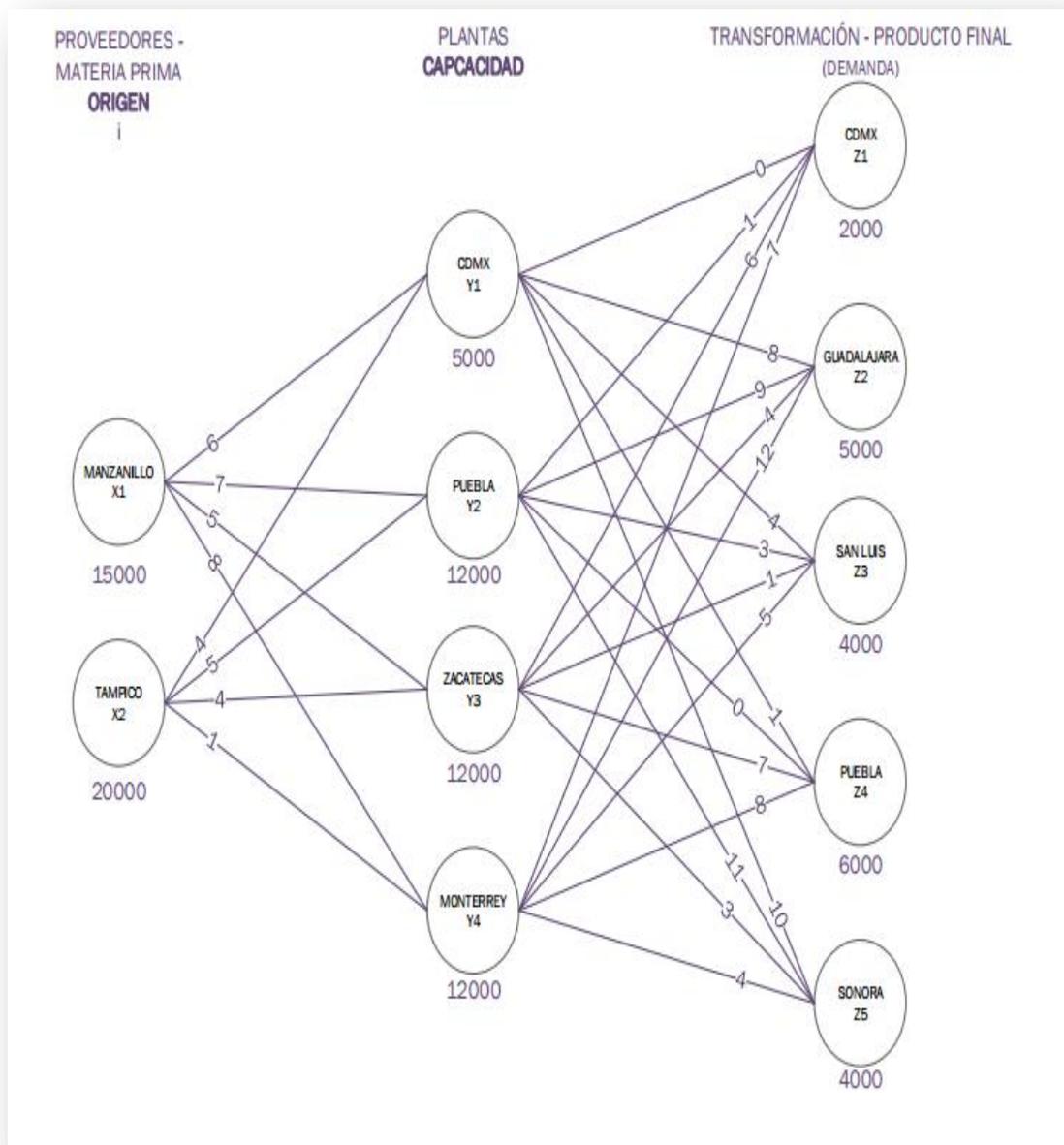


ILUSTRACIÓN 36 MODELO DE REDES #5



II. Declaración de variables de decisión

**X** (X11, X12+X13, X14, X21, X22, X23, X24) 2 plantas de Manzanillo y Tampico que estas abastecerán a 4 ciudades CDMX, Puebla, Zacatecas y Monterrey (que se desea la nueva apertura de estas)

**Z** que corresponden a las 5 ciudades donde se abastece el producto terminado (CDMX, Guadalajara, San Luis, Puebla, Sonora), cabe señalar que también se aplican 3 variables Y1, Y2, Y3 en la cuales se determinan las amortizaciones anuales de las 3 plantas que se desean abrir (Puebla, Zacatecas, Monterrey) de las cuales se obtienen de la siguiente manera

III. Ya que pide amortización contaremos con el apoyo del programa Excel donde se aplicara la siguiente formula:  
=PAGO (%) ;(PERIODO);(COSTO OPERACIÓN) + COSTO DE INSTALACION

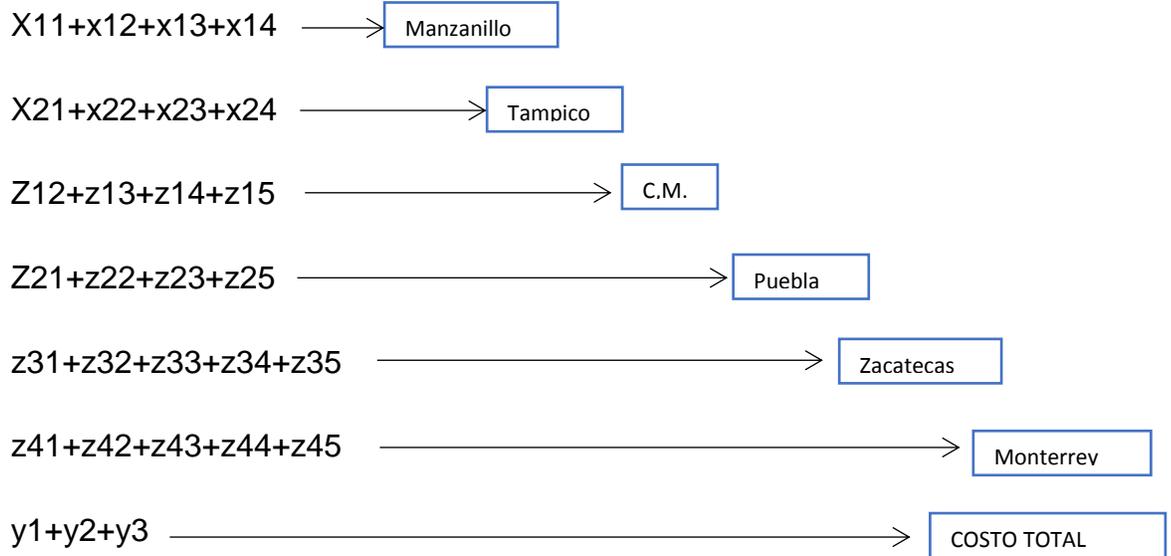
IV. Ahora procederemos en sacar la función objetivo de las variables de X que son las plantas de Manzanillo y Tampico pero en esta ocasión su orden es de acuerdo al costo de transporte de las 4 plantas abastecedoras CDMX, Puebla, Zacatecas y Monterrey

**¡FUNCION OBJETIVO;**

$$\begin{aligned} \text{Min} = & 6 * X_{11} + 7 * X_{12} + 5 * X_{13} + 8 * X_{14} \\ & + 4 * X_{21} + 5 * X_{22} + 4 * X_{23} + 1 * X_{24} \\ & + 8 * Z_{12} + 4 * Z_{13} + 1 * Z_{14} + 10 * Z_{15} \\ & + 1 * Z_{21} + 9 * Z_{22} + 3 * Z_{23} + 11 * Z_{25} \\ & + 6 * Z_{31} + 4 * Z_{32} + 1 * Z_{33} + 7 * Z_{34} + 3 * Z_{35} \\ & + 7 * Z_{41} + 12 * Z_{42} + 5 * Z_{43} + 8 * Z_{44} + 4 * Z_{45} \\ & + 16782 * Y_1 + 13184 * Y_2 + 16574 * Y_3; \end{aligned}$$



**En donde:**



El costo total de la amortización ya está directo

- V. Después de la aplicación de la función objetivo, se procederá la realización de las restricciones, para ello, se tiene que anexar un nuevo dato que es 0.95 (es lo que produce una tonelada de chatarra de producto terminado esto se aplicaran a las variables de Z (CDMX, Guadalajara, San Luis, Puebla y Sonora)

La aplicación queda de la siguiente manera en la cual se busca obtener la restricción de la demanda

**! RESTRICCIÓN DEMANDA;**

$$\begin{aligned} X_{11}+X_{21} &= 0.95 \cdot Z_{11} + 0.95 \cdot Z_{12} + 0.95 \cdot Z_{13} + 0.95 \cdot Z_{14} + 0.95 \cdot Z_{15}; \\ X_{12}+X_{22} &= 0.95 \cdot Z_{21} + 0.95 \cdot Z_{22} + 0.95 \cdot Z_{23} + 0.95 \cdot Z_{24} + 0.95 \cdot Z_{25}; \\ X_{13}+X_{23} &= 0.95 \cdot Z_{31} + 0.95 \cdot Z_{32} + 0.95 \cdot Z_{33} + 0.95 \cdot Z_{34} + 0.95 \cdot Z_{35}; \\ X_{14}+X_{24} &= 0.95 \cdot Z_{41} + 0.95 \cdot Z_{42} + 0.95 \cdot Z_{43} + 0.95 \cdot Z_{44} + 0.95 \cdot Z_{45}; \end{aligned}$$

Como proceso siguiente se aplica la demanda de los 5 destinos esto se obtiene de la siguiente manera



DEMANDA/50 = (COSTO DE TRANPORTE EN \$ POR ENVIO DE 50 TON)

Ejemplo  
 CDMX  
 $2000/50=40$

Para la aplicación de demanda de producto queda de la siguiente manera;

**! RESTRICCIÓN DE DEMANDA DE PRODUCTO;**

$Z11+Z21+Z31+Z41 \geq 40;$   
 $Z12+Z22+Z32+Z42 \geq 100;$   
 $Z13+Z23+Z33+Z43 \geq 80;$   
 $Z14+Z24+Z34+Z44 \geq 120;$   
 $Z15+Z25+Z35+Z45 \geq 80;$

$\geq$  Se aplica para ver cuál de los 5 destinos tendrá mayor demanda si se llegaran a apertura las plantas de Puebla Monterrey y Zacatecas

En este proceso se agrega las variables de X de las 2 plantas de Manzanillo y Tampico pero en esta ocasión de forma consecutiva

VI. Ahora se aplica un proceso donde se busca la oferta máxima de toneladas de las 2 plantas Manzanillo y Tampico

OFERTA MAX /50 = (COSTO DE TRANPORTE EN \$ POR ENVIO DE 50 TON)

Ejemplo=  
 $15000/50=300$

La aplicación queda de la siguiente manera

**! RESTRICCIÓN DE OFERTA DE CHATARRA;**

$X11+X12+X13+X14 \leq 300;$   
 $X21+X22+X23+X24 \leq 400;$

$\leq$  Se aplica para ver cuál de los 2 plantas destinos tendrá mayor oferta si se llegan a abastecer las plantas de Puebla Monterrey y Zacatecas



- VII. En este proceso se agrega las variables de Z de las plantas CDMX, Puebla, Zacatecas y Monterrey que abastecen a 5 ciudades CDMX, Guadalajara, San Luis Puebla y Sonora

$$Z_{11}+Z_{12}+Z_{13}+Z_{14}+Z_{15}$$

Posteriormente se procede a obtener la capacidad de la siguiente manera

Ejemplo=

CAPACIDAD /50 = (COSTO DE TRANPORTE EN \$ POR ENVIO DE 50 TON)

- VIII. Cabe señalar que se aplican las variables Y1, Y2, Y3 a las 3 ciudades que se desean abrir las nuevas plantas

$$Z_{21}+Z_{22}+Z_{23}+Z_{24}+Z_{25}=240*y_1; \quad \longrightarrow \boxed{\text{Puebla}}$$

$$Z_{31}+Z_{32}+Z_{33}+Z_{34}+Z_{35}=240*y_2; \quad \longrightarrow \boxed{\text{Zacatecas}}$$

$$Z_{41}+Z_{42}+Z_{43}+Z_{44}+Z_{45}=240*y_3; \quad \longrightarrow \boxed{\text{MONTERREY}}$$

La aplicación queda de la siguiente manera en la cual se busca la capacidad

**! RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD;**

$$Z_{11}+Z_{12}+Z_{13}+Z_{14}+Z_{15}=100;$$

$$Z_{21}+Z_{22}+Z_{23}+Z_{24}+Z_{25}=240*y_1;$$

$$Z_{31}+Z_{32}+Z_{33}+Z_{34}+Z_{35}=240*y_2;$$

$$Z_{41}+Z_{42}+Z_{43}+Z_{44}+Z_{45}=240*y_3;$$

$$Y_1+Y_2+Y_3 \leq 3;$$

- IX. Para finalizar se aplica la restricción binarias de Y1, Y2, Y3 esto nos ayudara a ver si las 3 opciones son optimas

**! RESTRICCIONES BINARIAS;**

$$@BIN(Y_1); @BIN(Y_2); @BIN(Y_3);$$



VIII. Interpretándolo en LINGO de la siguiente manera:

```
!modelo de aceros;
model:
min=6*X11+7*X12+5*X13+8*X14+4*X21+5*X22+4*X23+1*X24+8*Z12+4*Z13+1*Z14+10*Z15+1*Z21+9*Z22+3*Z23
+11*Z25+6*Z31+4*Z32+1*Z33+7*Z34+3*Z35+7*Z41+12*Z42+5*Z43+8*Z44+4*Z45+16782*Y1+13184*Y2+16574*Y3;
!Sujeto a restriccion demanda;
X11+X21=0.95*Z11+0.95*Z12+0.95*Z13+0.95*Z14+0.95*Z15;
X12+X22=0.95*Z21+0.95*Z22+0.95*Z23+0.95*Z24+0.95*Z25;
X13+X23=0.95*Z31+0.95*Z32+0.95*Z33+0.95*Z34+0.95*Z35;
X14+X24=0.95*Z41+0.95*Z42+0.95*Z43+0.95*Z44+0.95*Z45;
!Restriccion de demanda de producto;
Z11+Z21+Z31+Z41>=40;
Z12+Z22+Z32+Z42>=100;
Z13+Z23+Z33+Z43>=80;
Z14+Z24+Z34+Z44>=120;
Z15+Z25+Z35+Z45>=80;
!Restriccion de oferta de chatarra;
X11+X12+X13+X14<=300;
X21+X22+X23+X24<=400;
!Restriccion de capacidad;
Z11+Z12+Z13+Z14+Z15=100;
Z21+Z22+Z23+Z24+Z25=240*y1;
Z31+Z32+Z33+Z34+Z35=240*y2;
Z41+Z42+Z43+Z44+Z45=240*y3;
Y1+Y2+Y3<=3;
!Restricciones binarias;
@BIN(Y1);@BIN(Y2);@BIN(Y3);
end
```

ILUSTRACIÓN 37 LINGO #5



## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestra la tabla de las variables y su comportamiento que tuvo para satisfacer la demanda de los mercados por parte de las plantas así como de los proveedores:

CALCULO DE VARIABLES				
DE	A	VARIABLE	VALOR	COSTO REDUCIDO
Manzanillo	CDMX	X11	0.000000	1.000.000
Manzanillo	Puebla	X12	0.000000	2.789.474
Manzanillo	Zacatecas	X13	1.510.000	0.000000
Manzanillo	Monterrey	X14	0.000000	6.000.000
Tampico	CDMX	X21	9.500.000	0.000000
Tampico	Puebla	X22	0.000000	1.789.474
Tampico	Zacatecas	X23	7.700.000	0.000000
Tampico	Monterrey	X24	2.280.000	0.000000
CDMX	Guadalajara	Z12	0.000000	8.000.000
CDMX	San Luis	Z13	0.000000	7.000.000
CDMX	Puebla	Z14	1.000.000	0.000000
CDMX	Sonora	Z15	0.000000	1.300.000
Puebla	CDMX	Z21	0.000000	2.000.000
Puebla	Guadalajara	Z22	0.000000	1.000.000
Puebla	San Luis	Z23	0.000000	7.000.000
Puebla	Sonora	Z25	0.000000	1.500.000
Zacatecas	CDMX	Z31	0.000000	2.000.000
Zacatecas	Guadalajara	Z32	1.000.000	0.000000
Zacatecas	San Luis	Z33	1.400.000	0.000000
Zacatecas	Puebla	Z34	0.000000	2.000.000
Zacatecas	Sonora	Z35	0.000000	2.000.000
Monterrey	CDMX	Z41	4.000.000	0.000000
Monterrey	Guadalajara	Z42	0.000000	5.000.000
Monterrey	San Luis	Z43	0.000000	1.000.000
Monterrey	Puebla	Z44	2.000.000	0.000000
Monterrey	Sonora	Z45	1.800.000	0.000000

ILUSTRACIÓN 38 ANALISIS DE RESULTADOS #5



El costo de localización de las plantas será de \$33,229.00 pesos para satisfacer la demanda y bajar los costos de transporte y operación de los aceros

Conforme a los resultados obtenidos las plantas de Zacatecas y Monterrey serían las plantas más beneficiadas si se apertura los costos de transporte de las plantas de Manzanillo y Tampico con la amortización efectuada (**16782 Y1 13184 Y2 16574 Y3**) y con la reducción de costos muestran los siguientes resultados

<b>CONCLUSION DE COSTOS</b>			
<b>PLANTA</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>	<b>REDUCIDO</b>
CDMX			
PUEBLA	Y1	0.000000	16782.00
ZACATECAS	Y2	1.000.000	14564.00
MONTERREY	Y3	1.000.000	17990.00

ILUSTRACIÓN 39 REDUCCION DE COSTOS #5



## CONCLUSIÓN:

Actualmente la LOGISTICA es la encargada de la distribución eficiente de los productos de una determinada empresa con un menor costo y un excelente servicio al cliente, es por ello que en las empresas a tomado un papel muy importante así como los medios y programas para poder definir concisamente las variables que intervienen en los sistemas de distribución para generar las rutas más viables y hacer más eficiente y optimo nuestro servicio.

La logística gira en torno a crear valor: valor para los clientes y proveedores de la empresa, y valor para los accionistas de la empresa. El valor en la logística se expresa fundamentalmente en términos de tiempo y lugar. Los productos y servicios no tienen valor a menos que estén en posesión de los clientes cuándo (tiempo) y dónde (lugar) ellos deseen consumirlos. Una buena dirección logística visualiza cada actividad en la cadena de suministros como una contribución al proceso de añadir valor. Si sólo se le puede añadir poco valor, entonces se podrá cuestionar si dicha actividad debe existir. Sin embargo, se añade valor cuando los clientes prefieren pagar más por un producto o un servicio que lo que cuesta ponerlo en sus manos. (BALLOU, 2004, pág. 13)

Los mercados se han vuelto más exigentes, las empresas tienen que competir con otras a nivel regional, nacional o mundial y deben atender de la mejor manera a todos y cada uno de sus clientes, además, la aparición de nuevas tecnologías de información han traído como consecuencia menores tiempos y costos de transacción, esto ha obligado a las empresas a tomar más en serio la gestión logística si es que quieren seguir siendo competitivas.

Las empresas también se han ocupado continuamente de las actividades de movimiento y almacenamiento (transporte-inventario). La novedad de este campo estriba en el concepto de dirección coordinada de las actividades relacionadas, en vez de la práctica histórica de manejarlas de manera separada, además del concepto de que la logística añade valor a los productos o servicios esenciales para la satisfacción del cliente y para las ventas (BALLOU, 2004, pág. 3)

La selección de una adecuada estrategia logística y de la cadena de suministros requiere algo del mismo proceso creativo necesario para desarrollar una adecuada estrategia corporativa. Los enfoques innovadores en la estrategia logística y de la cadena de suministros pueden representar una ventaja competitiva (BALLOU, 2004, pág. 35)

Ese es el caso uso del solver de programación LINGO, es una completa herramienta diseñada para hacer *modelos de programación lineal*, no lineal (convexo y no convexo / Global), cuadrática, cuadrática restringida (por mencionar algunos), y a su vez nos pueda dar una mejor solución a problemas en



cuanto a la maximización o minimización de recursos con un potente lenguaje para expresar los modelos de optimización, un ambiente con todas las funciones para los problemas de construcción y edición, y un conjunto de solucionadores rápido incorporadas.

Por otro lado, una vez que LINGO ha creado un documento con datos sobre un modelo, podemos modificarlo a nuestro gusto, borrando cualquier información que no nos interese, añadiendo cualquier clase de explicaciones, títulos, comentarios, etc., Por el contrario, lo que escribamos en un documento debe ser correcto en el lenguaje de LINGO, pues en otro caso al intentar resolver el problema obtendremos mensajes de error en lugar de la solución deseada.

Los ejercicios desarrollados anteriormente fueron elaborados a través del uso de este solver de programación, se entendió de manera correcta el uso de variables y la importancia de cada uno de ellos logrando el modelo correcto en conjunto con las restricciones que marcan las redacciones de cada uno para que una vez introduciendo datos el programa el solver pudiera correr y arrojar los resultados óptimos con los costos correspondientes.

Saber la interpretación de los resultados nos ayudara a optimizar el sistema de distribución y en la coherencia entre sus diferentes nodos, específicamente en la actividad de transporte, donde se propone un procedimiento que favorece el diseño de sistemas de redes que contribuye a mejorar la efectividad de la distribución física, posibilitando ofrecer un elevado nivel de servicio balanceado con el *mínimo costo posible*, todo lo cual tributa al cumplimiento de los objetivos empresariales y al logro de la satisfacción de los clientes, elementos indispensables, fundamentalmente, para el mantenimiento y crecimiento de las empresas en general.

## BIBLIOGRAFÍA

BALLOU, R. H. (2004). *LOGISTICA, ADMINISTRACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO, QUINTA EDICION*. MEXICO : PEARSON, EDUCACION .