

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

18
2 y



APLICACION DE LA COMPUTACION DIGITAL A LA
OPTIMIZACION EN EL TRANSPORTE DE BARITA
EN EL SISTEMA DE PETROLEOS MEXICANOS

T E S I S

Que para optar por el título
INGENIERO PETROLERO

P r e s e n t a :
JUAN ALBERTO HERRERAMORO GOMEZ



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pág.
I. Introducción.	7
II. Información General.	9
III. Información del Sistema.	16
IV. Modelos de Transporte.	22
V. Modelo del Sistema Actual.	49
VI. Alternativas Seleccionadas.	55
VII. Programa de Cómputo.	76
VIII. Conclusiones.	154
Bibliografía.	157
Apéndice.	158

I INTRODUCCION

México, en la actualidad, es el 4o. productor de hidrocarburos a nivel mundial; y el volúmen total de exportaciones no petroleras de 1983 no superó el 30% del total de exportaciones nacionales.

El petróleo se ha convertido en unos cuantos años en el soporte de la economía, y su extracción e industrialización pasó a formar parte de las actividades prioritarias de la industria nacional.

Para poder extraer el preciado hidrocarburo, es necesaria la perforación de pozos a varios miles de metros de profundidad, y uno de los elementos más importantes dentro de la actividad es el fluido de perforación.

Los fluidos de perforación pueden ser: aire, gas, agua o aceite. Siendo los más comunes éstos últimos.

En la preparación de éstos fluidos son empleados varios agentes químicos que proporcionan las condiciones requeridas para formar un recubrimiento (enjarre) en las paredes del pozo perforado, eliminar los recortes hechos por la barrena, y evitar la invasión de los fluidos de la formación hacia el pozo.

En la composición del fluido interviene de manera importante la barita que sirve para proporcionar peso -

al fluido y coadyuvar a una mejor perforación del pozo.

A medida que aumenta la profundidad a la que se encuentra perforando el equipo, aumentan los requerimientos de barita para incrementar la densidad del lodo; si tomamos en cuenta que la mayor parte de los pozos actuales tienen una profundidad que oscila entre 3 y 5 mil metros, podremos evaluar la importancia de la barita dentro de la explotación petrolera.

La adición de barita al fluido de perforación, es la culminación de un proceso de transporte y distribución a lo largo de la República Mexicana. En la actualidad, los costos de transporte y distribución sobrepasan el costo del mineral en sí.

El propósito de éste trabajo es tratar de proporcionar un procedimiento a seguir por todas aquéllas personas encargadas o relacionadas con el transporte de la barita dentro de Petróleos Mexicanos, y cuyo objetivo principal es la minimización del costo total de transportación.

...

II INFORMACION GENERAL

La barita o sulfato de bario es conocida también como espato pesado y baritina.

Es normalmente blanca con caras de roturas curvilíneas, y se encuentra en depósitos de residuo, con textura granular, terrosa o aún fibrosa. Las baritas contienen desde una fracción hasta un porcentaje considerable de sulfato de estroncio, y pequeñas cantidades de silicio, calcita, yeso, caolín e hidróxido de hierro.

La barita no es un mineral de rocas ígneas, ni ocurre en depósitos metamórficos; sin embargo, es muy común encontrarla en forma de lentes y vetas en casi todo tipo de rocas.

Se forma durante la sedimentación, y es en general un mineral de origen acuoso.

Tipos de Yacimientos de Barita.

Existen 2 tipos de yacimientos de barita:

1. Yacimiento por depositación o contacto.- se origina en fracturas entre dos tipos de roca (caliza y arenisca).
2. Yacimiento por reemplazamiento.- Se origina por el

...

reemplazamiento parcial de la caliza. Este tipo de yacimientos o mantos son de baja calidad, pero de gran volúmen.

La calidad de la barita se mide principalmente por la densidad o gravedad específica de la misma, siendo el promedio requerido por Petróleos Mexicanos de cuando menos 4.23.

La gravedad específica se define como la relación entre el peso y el volúmen del mineral, y sus unidades son generalmente (gr/cm^3)

Los yacimientos de barita de importancia económica según producción o estimaciones se localizan principalmente en:

1.- Coahuila:

- a) Sierra Mojada.
- b) Zona de Múzquiz
- c) San Buenaventura
- d) Castaños
- e) Parras
- f) Saltillo

2.- Chihuahua:

- a) San Buenaventura
- b) Sierra de Encinillas

- c) Valsequillo
- d) Jiménez

3.- Durango:

- a) Indé
- b) Villa Hidalgo
- c) San Pedro del Gallo
- d) San Juan de Guadalupe

4.- Nuevo León:

- a) Mina
- b) Monterrey
- c) Rayones
- d) Galeana
- e) Aramberri

5.- Oaxaca:

- a) San Juan Igualtepec

6.- Puebla:

- a) Huehuetlán
- b) Teopantlán
- c) Tecomatlán
- d) Municipio de Acatlán

7.- Zacatecas:

- a) Municipio de Mazapil.

Como yacimientos de importancia secundaria, se - -
tienen localizados los siguientes:

1.- Chihuahua:

- a) Guadalupe Bravos
- b) Villa López
- c) Villa Matamoros

2.- Durango:

- a) Sierra Bermejillo
- b) Lerdo
- c) Guadalupe Victoria

3.- Nuevo León:

- a) Lampazos
- b) Villaldama
- c) Salinas Victoria
- d) Santa Catarina
- e) Santiago
- f) Linares
- g) Doctor Arroyo

4.- Puebla:

- a) Chiautla
- b) Tulcingo
- c) Piaxtla
- d) San Pedro Amicano

5.- Jalisco:

a) Municipio de Chiquilistlán

6.- San Luis Potosí:

a) Catorce

7.- Sonora:

a) Nacozari de García

8.- Tamaulipas:

a) Municipio de Ciudad Victoria.

Como yacimientos de barita con un valor económico desconocido se tienen localizados los siguientes:

1.- Nuevo León:

a) Cerralvo

b) Iturbide

2.- Oaxaca:

a) Zona de Tequistepec - Yolotepec

b) Silacoayapilla

c) Ahuahuetitlán

d) Chilapa de Díaz

e) Cahuacá

f) Zona de Cuanana

g) Totomachapa

...

3.- Puebla:

- a) Jalpan
- b) Naupan
- c) Zongosotla
- d) Zacapala
- e) Izúcar de Matamoros

4.- Zacatecas:

- a) Concepción del Oro
- b) Zona de San Alto
- c) Ojo Caliente
- d) Villa González Ortega

5.- Jalisco:

- a) Tenamaxtlán - Atengo
- b) Tuxcacuesco
- c) Villa Carranza
- d) Tecalitlán

9.- San Luis Potosí:

- a) Vanegas
- b) Cedral
- c) Charcas
- d) Ramos

10.- Tamaulipas:

- a) Hidalgo

b) Güemez

11. Guerrero:

a) Tepecoacuilco

b) Tlacotepec

c) Municipio de Quechultenango

12. Hidalgo:

a) Tepejí del Río

b) Acaxochitlán

La Barita, objeto de nuestro estudio, tuvo que ser estandarizada en cuanto a las características requeridas para su uso; para lo cual el Instituto Mexicano del Petróleo creó una norma para el control de calidad (Ver - Apéndice No. 1); y con esto obtener un producto de consumo de acuerdo con las necesidades de Petróleos Mexicanos.

III. INFORMACION DEL SISTEMA

El sistema actual de distribución de barita de Petróleos Mexicanos, está compuesto por 37 centros, los cuales se encuentran distribuidos desde Mazatán, Sonora hasta Dos Bocas, Campeche.

Debido a lo complejo que sería el manejo de éstos centros en forma individual, se optó por clasificarlos de acuerdo a la función que desempeñan.

A continuación se mencionan los nombres de los centros en funcionamiento:

Centros Productores.

Los Centros Productores que actualmente abastecen de barita a Petróleos Mexicanos son:

Centro Productor	Localización	Producción Com prometida (tons/mes)
Barita de Sonora	Sonora	10 000
Minerales de Colima	Colima	10 000
La Mascota	Jalisco	500
Barita de Apatzingán	Michoacán	4 000
Moliendas Industriales	Coahuila	500
Negociación Minera		

Eulalio Gutiérrez	Coahuila	4 000
Minerales y Arcillas	Nuevo León	8 400
Baramín Monterrey	Nuevo León	1 000
Baramín Linares	Nuevo León	4 000
Bentonita de México	Nuevo León	1 400
Cía. Minera Guadalcazar	Nuevo León	1 200
Barita de Apatzingán	Puebla	1 200
Baricosta	Tabasco	5 000

Las principales funciones de éstos proveedores - -
son:

1. Transformar la roca de barita proveniente de la mina_ a una presentación en polvo, con características espe_ cíficas.
2. Empacar el polvo obtenido de la molienda en sacos de_ 50 Kgs.
3. Cargar los sacos al transporte seleccionado, para ser trasladados a un centro almacenador o distribuidor.

Centros Almacenadores.

Dentro de los centros considerados como almacenado_ res exclusivamente, se tienen:

...

Centro Almacenador	Localización
Guaymas	Sonora
Manzanillo	Colima
Lázaro Cárdenas	Michoacán
Salina Cruz	Oaxaca
El Chapo	Veracruz

Las principales funciones de éstos centros son:

1. Descargar el mineral proveniente de un centro productor o de otro centro almacenador.
2. Almacenar el mineral en bodegas con las condiciones requeridas para tal efecto.
3. Cargar el mineral al tipo de transporte seleccionado con el fin de llevarlo a otro centro que desempeña la misma función u otra diferente.

Centros Transformadores.

Los Centros Transformadores que se encuentran funcionando actualmente son:

Centro Transformador	Localización
Arbol Grande	Veracruz
Roberto Ayala	Tabasco
Estación Juárez	Tabasco
Dos Bocas	Tabasco

Sus funciones, principalmente son:

1. Descargar el mineral en sacos, proveniente de algún - centro almacenador.
2. Transformar el mineral de sacos a granel, a través de un sistema mecánico o manual.
3. Cargar el mineral a granel en transportes especializa dos.

Centros Distribuidores.

Los Centros Distribuidores, en uso actualmente, - son:

Centro Distribuidor	Localización	Demanda (tons/--mes)
Manchital	Veracruz	10 596
Cd. Pemex	Tabasco	6 812
Ebano	San Luis Potosí	750
Reforma (Villa Hermosa)	Chiapas	4 800
Cerro Azul	Veracruz	750
Poza Rica	Veracruz	1 200
Cuenca del Papaloapan	Veracruz	2 935
Monclova	Coahuila	1 107
Reynosa	Tamaulipas	3 690
El Plan	Veracruz	923

...

Agua Dulce	Veracruz	738
Campeche	Tabasco	2 703
Altamira	Tamaulipas	900

Dentro de sus funciones se encuentran las siguientes:

1. Descargar el mineral proveniente de un centro almacenador o transformador.
2. Almacenar el mineral durante el tiempo necesario.
3. Distribuir el mineral a los centros consumidores de acuerdo a la demanda.

Centros Consumidores.

Los Centros Consumidores son las localizaciones que se encuentran en desarrollo en la República Mexicana. El número de Centros Consumidores está en función del tiempo, y de la política de explotación predominante.

Sin embargo, el número de centros, no es tan importante, como en determinado momento, y para los fines que nos ocupan, pudiera ser, la demanda total de mineral.

Esta será considerada como la demanda que a su vez tengan los centros distribuidores para cada zona en particular, ya que es el valor que se toma en cuenta para -

efectuar la optimización del sistema de transporte.

)

IV. MODELOS DE TRANSPORTE

El origen de los modelos de transporte data de 1941 cuando F.L. Hitchcock presentó un estudio titulado "The Distribution of a Product From Several Sources to Numerous Localities". Este estudio se considera la primera contribución importante para la solución de los problemas de transporte.

Posteriormente, en 1947, T.C. Koopmans presentó un estudio llamado "Optimum Utilization of The Transportation System".

Estas dos contribuciones han sido las más importantes en el desarrollo de los modelos de transporte. Estos Modelos comprenden varios sitios para embarque y varios puntos como destino. Dentro de un período de tiempo dado, cada fuente de embarques (fábrica), tiene cierta capacidad, y cada punto de destino (bodega), tiene ciertos requerimientos con un costo de acuerdo a la distancia recorrida y al volúmen transportado.

La función objetivo consiste, en reducir al mínimo el costo del transporte, y satisfacer los requerimientos de las bodegas dentro de las limitaciones de capacidad de las fábricas.

Para ilustrar el concepto anterior, se analiza el

ejemplo siguiente:

Se tienen 3 fábricas enlatadoras, las cuales desean enviar un producto, a 4 distribuidoras, localizadas en diferentes puntos del país. La tabla que muestra los costos asociados a cada ruta se muestra a continuación:

Costo de Transportación
por camión

		Distribuidoras				producción de
		1	2	3	4	las enlatadoras
Fábricas	1	464	513	654	867	75
Enlatadoras	2	352	416	690	791	125
	3	995	682	388	685	100
Demanda en		80	65	70	85	

las distribuidoras.

Si se toma X_0 como el costo total de transportación, y sea X_{ij} ($i=1,2,3$; $j=1,2,3,4$) el número de camiones que se van a embarcar, de la enlatadora i a la distribuidora j . Por lo tanto, el objetivo será escoger los valores de las 12 variables X_{ij} , para minimizar X_0 .

Donde:

$$X_0 = 464 X_{11} + 513 X_{12} + 654 X_{13} + 867 X_{14} + 352 X_{21} + 416 X_{22} + 690 X_{23} + 791 X_{24} + 995 X_{31} + 682 X_{32} + \dots$$

$$388 X_{33} + 685 X_{34}.$$

Sujeto a las restricciones siguientes:

$$\begin{array}{rcl}
 X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} & & = 75 \\
 & X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} & = 125 \\
 & X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} & = 100 \\
 X_{11} & + X_{21} + X_{31} & = 80 \\
 X_{12} & + X_{22} + X_{32} & = 65 \\
 X_{13} & + X_{23} + X_{33} & = 70 \\
 X_{14} & + X_{24} + X_{34} & = 85
 \end{array}$$

y $X_{ij} \geq 0 (i= 1,2,3; j= 1,2,3,4)$

Del ejemplo anterior se ve que la tabla general de costos y requerimientos para el problema de transporte es:

		Costo por Unidad				Capacidad de producción
		Distribuída				
		Destino				
		1	2	...	n	
Origen	1	C11	C12	...	C1n	a1
	2	C21	C22	...	C2n	a2
	⋮			⋮		⋮
	m	Cm1	Cm2	...	Cmn	an
demanda		b1	b2	⋮	bn	

...

Asimismo, la tabla de coeficientes de restricciones para el problema de transporte es en general:

		Coeficiente				
X11	X12...X1n	X21	X22...X2n...	Xm1...Xmn		
1	1...1				restricciones de las capacidades de producción.	
		1	1 . . . 1	1 . . . 1		
1		1		1	restricciones de las demandas	
	1 . . . 1	1 . . . 1	. . . 1	1 . . . 1		

Es importante señalar que ésta estructura especial, es la que define al problema, como un problema de transporte, y no su contexto.

De lo anterior, surgen las características propias para éste tipo de modelo:

Se tiene un número de unidades disponibles en el origen i ($i= 1,2, \dots, m$) que se denotarán mediante a_i ; y un número de unidades requeridas en el destino j ($j= 1,2, \dots, n$) que denominaremos b_j ; C_{ij} será a su vez el costo de transportación por unidad a través de la ruta (i,j) . Siendo X_{ij} el número de unidades embarcadas -
...

del origen i , al destino j . El objetivo es determinar el número de unidades que se deben transportar del origen i , al destino j , de manera que se minimice el costo total de transportación.

Por lo tanto, el modelo de programación lineal equivalente, será:

$$\text{minimizar } X_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$\text{sujeto a: } \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0$$

Balance del Modelo de Transporte.

La definición general del modelo de transporte implica que:

$$\sum_{j=1}^n b_j = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m X_{ij} \right) = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n X_{ij} \right) = \sum_{i=1}^m a_i$$

...

Esto significa que la disponibilidad en los orígenes debe ser igual a la demanda en todos los destinos. En los problemas reales, ésta restricción no necesita ser siempre satisfecha.

En otras palabras, la producción disponible, puede ser menor o mayor que la demanda, en éste último caso, se dice que el modelo está desbalanceado.

La restricción.
$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$
 es imposible

únicamente por ser fundamental para el desarrollo de la técnica de transportación. Sin embargo, cualquier problema real puede ser balanceado convirtiéndolo artificialmente en un problema con igual disponibilidad y demanda.

Si la demanda excede a la disponibilidad se aumenta un origen mudo que suplirá la cantidad faltante $\sum b_j - \sum a_i$.

Si hay exceso de producto, se utiliza un destino mudo que absorba la cantidad sobrante $\sum a_i - \sum b_j$. Los costos de transportación por unidad del origen mudo a todos los destinos son cero, siendo ésto equivalente a no embarcar del origen mudo. Similarmente, los costos de transportación por unidad, de los orígenes a un desti

...

no mudo, son cero. Físicamente, las cantidades embarcadas, de un origen mudo pueden ser interpretadas como faltantes en la demanda, mientras que aquéllas asignadas a destinos mudos pueden ser interpretadas como capacidades no usadas en el origen.

Ya que la disponibilidad en el origen mudo representa la cantidad faltante en los destinos, puede ser deseable que se asignen costos de penalización (en vez de ceros) a las entradas de un origen mudo, para reflejar la falla del proveedor, y satisfacer la demanda requerida. Un criterio similar se aplica al caso de un destino mudo.

El Algoritmo de Transportación.

Los pasos básicos del algoritmo de transportación son:

Paso 1 : Determinar una solución básica factible inicial.

Paso 2 : Determinar una variable para introducirla a las variables no básicas. Si todas las variables satisfacen la condición de ser óptimas (método simplex) deténgase; si no, siga al paso 3.

Paso 3 : Determinar la variable que sale (usando la condición de factibilidad) de entre las variables de la solución básica factible que se tenga en ese momento. Posteriormente, encontrar la nue-

va solución básica; y regresar al paso 2.

Para explicar lo anterior se usará el problema - - ejemplo de la tabla 1; en la cual, el costo de transpor-tación por unidad (c_{ij}) está en pesos, y la disponibili-dad y demanda están dadas en número de unidades.

Tabla 1

		Destinos				Producción
		1	2	3	4	
Orígenes	1	10 X11	0 X12	20 X13	11 X14	15
	2	12 X21	7 X22	9 X23	20 X24	25
	3	0 X31	14 X32	16 X33	18 X34	5
Demanda		5	15	15	10	

Solución Básica Inicial

La definición general del modelo de transporte, - requiere que $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$. Este requerimiento - resulta en una ecuación dependiente, lo cual significa - que el modelo de transporte tiene únicamente $m+n-1$ ecua-ciones independientes. Por lo tanto, al igual que en el - método simplex, una solución básica factible inicial de-

be incluir $m+n-1$ variables básicas.

A continuación se describen tres métodos para obtener una solución básica factible inicial, adecuada.

I. Método de la Esquina Noroeste.

Este método se inicia asignando la máxima cantidad permitida para la producción y demanda a la variable X_{11} (que se encuentra en la esquina noroeste de la tabla). - La columna (renglón) satisfecha (o) se marca a continuación, indicando que las variables restantes en la columna (renglón) marcada (o) son iguales a cero. Si se satisfacen simultáneamente una columna y un renglón, solamente uno (cualquiera de ellos) puede ser marcado. Después de ajustar las cantidades de producción y demanda - para todas las columnas y renglones no marcados, se asigna la máxima cantidad factible al primer elemento no marcado en la nueva columna (renglón). El proceso se complementa cuando la suma de las X_{ij} en forma vertical y horizontal satisfacen las demandas e igualan a la producción.

Aplicando este procedimiento, al ejemplo anterior (tabla 1) se tendrá como resultado:

...

Tabla 2

	1	2	3	4	
1	5	10			15
2		5	15	5	25
3				5	5
	5	15	15	10	

La solución básica inicial está dada en la tabla -
2. Siendo las variables básicas:

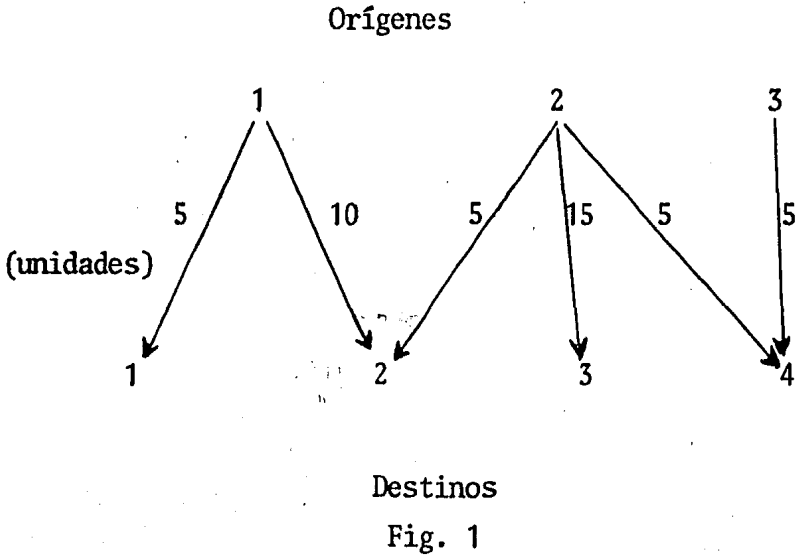
$$\begin{array}{ll} X_{11} = 5 & X_{23} = 15 \\ X_{12} = 10 & X_{24} = 5 \\ X_{22} = 5 & X_{34} = 5 \end{array}$$

Las variables restantes son, no básicas en el nivel cero.

El costo de transportación asociado es $5x_{10} + 10x_0 + 5x_7 + 15x_9 + 5x_{20} + 5x_{18} = \$ 410$

La solución inicial de la tabla 2, incluye el número adecuado de variables básicas, o sea, $m+n-1=6$. La regla de la esquina noroeste siempre proporciona el número adecuado de variables básicas.

La solución inicial será ilustrada por la figura 1



II. Método del Mínimo Costo.

El método del mínimo costo está diseñado para encontrar una solución inicial óptima, utilizando las rutas más baratas del modelo.

El procedimiento es el siguiente: Se asigna la mayor cantidad posible, a la variable con el menor costo unitario en la tabla. (Los empates se rompen arbitrariamente). Se marca el resto de la columna o renglón satisfechos (Al igual que en el método anterior, si alguna columna o renglón se satisfacen simultáneamente, sólo ...

uno se puede marcar). Después de ajustar la producción y la demanda para todos los elementos no marcados, se repite el procedimiento, asignando cuanto sea posible a la variable con el menor costo unitario no marcado. El proceso se termina cuando la suma de las X_{ij} en forma vertical y horizontal satisfacen las demandas e igualan la producción.

Aplicando este procedimiento al problema de la tabla 1 se obtendrá la tabla 3, que representa la solución inicial, para el método del mínimo costo.

Tabla 3

	1	2	3	4	
1	10	0	20	11	15
	0	15		0	
2	12	7	9	20	25
			15	10	
3	0	14	16	18	5
	5				
	5	15	15	10	

El costo total asociado a ésta solución es $0 \times 10 + 15 \times 0 + 0 \times 11 + 15 \times 9 + 10 \times 20 + 5 \times 0 = 335$, el cual es inferior al costo que proporciona el método de la esquina -

noroeste.

La solución básica de la tabla 3, incluye cuatro variables positivas y dos variables cero. Esto significa que la solución básica inicial es degenerada, esto es, que al menos una de las variables básicas es igual a cero. Sin embargo, la degeneración no representa un problema especial para la solución del problema, ya que las variables básicas cero pueden ser tratadas como cualesquiera de las variables básicas positivas.

III Método de Aproximación de Vogel (MAV)

Este método es un método heurístico, y generalmente proporciona una mejor solución inicial que los dos métodos anteriores.

En realidad, en la mayoría de los casos el MAV proporciona una solución inicial óptima o bastante aproximada a ésta.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- 1: Aplicar un castigo para cada renglón (columna), substrayendo el elemento de menor costo en el renglón (columna) del siguiente elemento de menor costo en el mismo renglón (columna).

- 2: Identificar el renglón o columna con el más ele

...

vado castigo, rompiendo los empates arbitrariamente. Asignar la mayor cantidad posible a la variable con el menor costo en el renglón o columna seleccionado.

Ajuste la producción y demanda, y marque el renglón o columna satisfechos. Si un renglón o una columna se satisfacen simultáneamente, sólo uno de ellos se marca, y al renglón o columna restante se le asigna una producción o demanda de cero. No debe utilizarse ningún renglón o columna con producción o demanda cero en el cálculo de castigos futuros.

- 3: (a) Si queda exactamente un renglón o una columna sin marcar, deténgase.
- (b) Si únicamente queda sin marcar un renglón (columna) con producción o demanda positiva, determinar las variables básicas en el renglón (columna), por el método del mínimo costo.
- (c) Si todos los renglones y columnas no marcados tienen asignada producción o demanda cero, determinar las variables básicas cero, por el método del mínimo costo y deténgase.
- (d) En caso de no cumplirse lo anterior, recal-

cule los castigos para los renglones y columnas - no marcados, y regresar al paso 2. (Es importante tener en cuenta que los renglones y columnas con - producción y demanda asignada cero no deben ser - consideradas para calcular éstos castigos).

Aplicando este procedimiento a la tabla 1 del problema de transporte se tendrán las tablas 4,5 y 6 como - se vé a continuación:

Tabla 4

	1	2	3	4	castigo renglón	
1	10	0	20	11	15	10
2	12	7	9	20	25	2
3	0	14	16	18	5	14
	5	15	15	10		
castigo columna	10	7	7	7		

...

Tabla 5

	1	2	3	4		
1	10	0	20	11	15	11 ← castigo
2	12	7	9	20	25 10	2 ← castigo
3	0				5	-
columna	5	15	15	10		
castigo	-	7	11	9		

Tabla 6

	1	2	3	4		
1		0		11	15	11
		5		10		
2		7	9	20	25 10 13	
		10	15			
3	0			18	5	
	5			0		
castigo	5	15	15	10		
columna		7		9		

El costo total, asociado a ésta solución, es de -
\$ 315, el cual representa para este caso en particular,-

el costo óptimo.

Método del Cruce del Arroyo.

La solución inicial, puede ser considerada como la solución asociada a la iteración que se tenga en el momento. El procedimiento para comprobar, si la solución actual puede ser mejorada, es analizando las variables no básicas que se tienen en el momento, y así, tratar de obtener un beneficio potencial sobre el valor de la función objetivo. Si una vez efectuado el análisis, encontramos una variable susceptible de ser mejorada, ésta se convertirá en la variable que entra, y en tal caso, alguna de las variables existentes en la solución deberá ser eliminada.

Para determinar las variables que entran y salen, se identifica un ciclo cerrado para cada variable no básica. El ciclo inicia y termina en la variable no básica designada, conformado por segmentos sucesivos horizontales y verticales conectados, cuyos extremos deben ser variables básicas, con excepción de los dos segmentos que inician y terminan en la variable no básica. Esto significa que cada elemento en la esquina del ciclo debe ser una variable básica. La tabla 7 ilustra el ciclo seguido para la variable no básica X31, dada la solución básica en la tabla 2. Este ciclo puede definirse en términos de las variables básicas como X31 X11 X12 -

X22 X24 X34 X31. El resultado obtenido al trazar el ciclo en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario es exactamente el mismo. Es importante observar que para cada solución básica dada, únicamente es posible construir un ciclo para cada variable no básica.

Variable No Básica	Ciclo Asociado				
X13	X13	X12	X22	X23	X13
X14	X14	X12	X22	X24	X14
X21	X21	X11	X12	X22	X21
X32	X32	X22	X24	X34	X32
X33	X33	X23	X24	X34	X33

El ciclo se utiliza, para comprobar si el valor de la función objetivo puede mejorado, cuando la variable no básica asociada se incrementa por arriba de su valor actual cero. Por ejemplo, si en la tabla 7 se incrementa el valor de X31 en una unidad; para mantener la factibilidad de la solución, los elementos en las esquinas del ciclo de la variable X31 deben ser ajustados también. Decrementar X11 en una unidad, incrementar X12 en una unidad, decrementar X22 en una unidad, incrementar X24 en una unidad, y finalmente decrementar X34 en una unidad. El proceso puede ser indicado mediante un signo + ó un signo - en las esquinas respectivas de la tabla 7. Este cambio mantendrá las res-

tricciones de producción y demanda satisfechas.

Se denomina a \bar{C}_{31} como el incremento o decremento neto en el costo, como resultado de incrementar X31 en una unidad, se tendrá:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{31} &= C_{31} - C_{11} + C_{12} - C_{22} + C_{24} - C_{34} = 0 - 10 + 0 - 7 + 20 - 18 \\ &= - \$ 15 \end{aligned}$$

Tabla 7

	1	2	3	4	
1	10	0	20	11	15
	5	- 10			
					+
2	12	7	9	20	25
		- 5	15	5	
					+
3	0	14	16	18	5
	+ X31			5	
					-
	5	15	15	10	

Es alentador incrementar X31 por encima de cero, -
 debido a que cada incremento unitario significará una -
 reducción en el costo de transportación del orden de - -
 \$ 15. Utilizando los ciclos para las otras variables -
 no básicas, tenemos que el incremento o decremento neto,
 en el costo por incremento unitario, en cada una de las -

...

variables no básicas restantes, es el siguiente:

$$\bar{C}_{13} = + \$18, \bar{C}_{14} = - \$ 2, \bar{C}_{21} = - \$5, \bar{C}_{32} = + \$9, \text{ y } - - \\ \bar{C}_{33} = + \$9$$

Debido a que X31 proporciona el mayor decremento unitario en el costo ($\bar{C}_{31} = - \$15$) se elegirá como la variable que entra.

La variable que sale es seleccionada, de entre las variables localizadas en las esquinas del ciclo, la cual se decrementará cuando la variable que entra, X31, se incremente por encima del nivel cero. Esto es señalado en la tabla 7 por las variables marcadas con signo menos.

De la tabla 7 observamos que X11, X22, y X34 son las variables básicas que se decrementarán cuando X31 se incrementa. La variable que sale es seleccionada del conjunto de aquéllas que tienen menor valor, o sea, aquélla que sea la primera en alcanzar el valor cero, ya que cualquier decremento posterior ocasionará que se torne negativa. En este ejemplo, las tres variables con signo menos X11, X22, y X34 tienen el mismo valor (5). Por lo tanto, cualesquiera de ellas puede ser seleccionada como la variable que sale. Supóngase que se escoge X34 como la variable que sale; entonces el valor de X31 se incrementa en 5 y los valores de las variables básicas en las esquinas se ajustarán proporcionalmente. Es de--

cir, cada una se incrementará o decrementará dependiendo de si tiene un signo + o un signo - asociado. La nueva solución está dada en la tabla 8:

Tabla 8

	1	2	3	4	
1	10	0	20	11	15
	0	15			
2	12	7	9	20	25
		0	15	10	
3	0	14	16	18	5
	5				
	5	15	15	10	

Esta nueva solución origina un costo de $0X_{10} + 15X_0 + 0X_7 + 15X_9 + 10X_{20} + 5X_0 = \$ 335$. El cual difiere del obtenido en la tabla 2 en \$ 75, lo cual es igual al número de unidades asignadas a X_{31} (5), multiplicadas por el decremento en costo por cada unidad (\$ 15).

La solución básica, dada por la tabla 8, está degenerada, ya que las variables básicas X_{11} y X_{22} son cero. La degeneración, sin embargo, no necesita alteraciones especiales, y las variables básicas cero son tratadas como cualquier otra variable básica positiva.

...

Las nuevas variables no básicas se revisan a continuación, en busca de la posibilidad de mejorar la solución actual. El procedimiento descrito para la tabla 7 se repite para la tabla 8 determinando los ciclos y comprobando posteriormente, la condición de que cada variable no básica, cumpla con la condición de optimización. Los números de la esquina suroeste para cada cuadro no básico de la tabla 9, mostrada a continuación, representan un incremento unitario en la variable que entra, ocasionando, un incremento o un decremento, según el caso, en el costo total de transportación.

Tabla 9

	1	2	3	4	
1	10	0	20	11	15
	0	→ 15		-2	
2	12	7	9	20	25
	X21 ← 0		15	10	
	-5	+	-		
3	5	14	16	18	5
		24	+24	+15	
	5	15	15	10	

Por ejemplo, un incremento unitario en X14 decre-
 menta el costo total en \$2. Como se ve en la tabla 9, -
 X21 es la variable que entra. El ciclo asociado con X21 -
 muestra que tanto X11 como X22 pueden ser las variables -
 que salen debido a que ambas son cero. En este - -

caso, se selecciona X11 arbitrariamente, como la variable que deja la solución básica. En la tabla 10 se encontrará la nueva solución básica, así como la evaluación de las variables no básicas asociadas, la cual muestra que X14 es la variable que entra y X24 es la variable que sale.

Tabla 10

	1	2	3	4	
1	10	0	20	11	15
	5	15	-	18	-2
				X14	+
2	12	7	9	20	25
	0	0	15	10	-
3	0	14	16	18	5
	5	19	19	10	
	5	15	15	10	

Quando X14 entra a la solución y X24 deja la solución, se obtiene una nueva solución, la cual se ve en la tabla 11.

...

Tabla 11

	1	2	3	4	
1	10	0	20	11	15
	5	5	18	10	
2	12	7	9	20	25
	0	10	15	2	
3	0	14	16	18	5
	5	19	19	12	
	5	15	15	10	

La evaluación de las variables no básicas muestra - que la solución es óptima debido a que un incremento en el valor de cualquier variable no básica, sobre su actual valor de cero, incrementará los costos, totales.

En resumen, la solución óptima para el problema - que nos ocupa, será la siguiente: Embarcar 5 unidades - del origen 1 al destino 2 a $5 \times 0 = \$ 0$, 10 unidades del - origen 1 al destino 4 a $10 \times 11 = \$ 110$, 10 unidades del - origen 2 al destino 2 a $10 \times 7 = \$ 70$, 15 unidades del ori- - gen 2 al destino 3 a $15 \times 9 = \$ 135$, y 5 unidades del ori- - gen 3 al destino 1 a $5 \times 0 = \$ 0$.

Por lo tanto, el costo óptimo total de transporta- - ción será de \$ 315.

Método de los Multiplicadores.

Este método reproduce exactamente las mismas iteraciones que el método del cruce del arroyo. Se diferencia únicamente por la forma en que las variables no básicas son evaluadas en cada iteración.

El procedimiento consiste en asociar a cada renglón i de la tabla de transportación un multiplicador U_i . Similarmente, asociar un multiplicador V_j a cada columna j . Para cada variable básica X_{ij} en la solución existente se tendrá la ecuación:

$$U_i + V_j = C_{ij}$$

El conjunto proporciona, $m+n-1$ ecuaciones (debido a que existen $m+n-1$ variables básicas) en un número $m+n$ desconocido. Los valores de los multiplicadores pueden ser determinados a partir de éstas ecuaciones, asumiendo un valor arbitrario para cualesquiera de los multiplicadores (generalmente U_i se iguala a cero), y resolviendo posteriormente las $m+n-1$ ecuaciones en los restantes $m+n-1$ multiplicadores desconocidos. Una vez realizado lo anterior, la evaluación de cada variable no básica X_{pq} estará dada por:

$$\bar{C}_{pq} = C_{pq} - U_p - V_q$$

...

Estos valores son exactamente iguales a los obtenidos mediante el método del cruce del arroyo, sin importar la selección arbitraria de cada uno de los multiplicadores. Por lo tanto, el procedimiento de solución a partir de éste punto, será exactamente el seguido por éste método.

Para ilustrar la aplicación de éste procedimiento, se evalúan las variables no básicas de la tabla 7. Las ecuaciones asociadas con las variables básicas, son:

$$\begin{aligned} X_{11} &: U_1 + V_1 = C_{11} = 10 \\ X_{12} &: U_1 + V_2 = C_{12} = 0 \\ X_{22} &: U_2 + V_2 = C_{22} = 7 \\ X_{23} &: U_2 + V_3 = C_{23} = 9 \\ X_{24} &: U_2 + V_4 = C_{24} = 20 \\ X_{34} &: U_3 + V_4 = C_{34} = 18 \end{aligned}$$

Haciendo $U_1 = 0$, el valor de los multiplicadores se determinará sucesivamente como : $V_1 = 10$, $V_2 = 0$, $U_2 = 7$, $V_3 = 2$, $V_4 = 13$, y $U_3 = 5$. La evaluación de las variables no básicas estará dada por:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{13} &= C_{13} - U_1 - V_3 = 20 - 0 - 2 = 18 \\ \bar{C}_{14} &= C_{14} - U_1 - V_4 = 11 - 0 - 13 = -2 \\ \bar{C}_{21} &= C_{21} - U_2 - V_1 = 12 - 7 - 10 = -5 \\ \bar{C}_{31} &= C_{31} - U_3 - V_1 = 0 - 5 - 10 = -15 \\ \bar{C}_{32} &= C_{32} - U_3 - V_2 = 14 - 5 - 0 = 9 \\ \bar{C}_{33} &= C_{33} - U_3 - V_3 = 16 - 5 - 2 = 9 \end{aligned}$$

Estos valores son idénticos a los evaluados para la tabla 7 mediante el método del cruce del arroyo, el cual muestra que X31 es la variable que entra. La variable que sale se determina a continuación utilizando el ciclo asociado a X31 como se vió en el método del cruce del arroyo. Las variables restantes se determinarán aplicando un procedimiento idéntico al empleado en el método anterior.

IV. MODELO DEL SISTEMA ACTUAL

Para efectuar el análisis de éste modelo, se utilizará la clasificación hecha anteriormente.

Centros Productores.

Son aquéllos en los cuales se procesa el mineral - proveniente de las minas. Los centros productores pueden tener sus propias minas o ser maquiladores. Para el análisis del sistema, no se considerará diferencia entre unos u otros, debido a que el modelo únicamente considera la cantidad de mineral que es capaz de producir cada centro sin importar su origen.

El mineral que sale de los centros productores - - puede estar en dos presentaciones: a granel y en sacos - (50 Kgs.). Inicialmente no se hará ninguna diferenciación entre éstos, sin embargo, la diferencia en costo de transportación para uno u otro, nos permitirá distinguir los claramente durante la aplicación del modelo.

Los costos de transportación, empleados en el modelo, no consideran el costo de carga en el origen, ni el costo de descarga en el destino. Si fuera necesaria la inclusión de alguno de éstos, se efectuarían las modificaciones respectivas sobre el costo unitario de transportación.

...

Los centros productores se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de toda la República Mexicana, por lo tanto, no es posible agruparlos como conjunto en una zona geográfica determinada.

Centros Almacenadores.

Son aquéllos en los cuales se recibe el material proveniente ya sea de los centros productores, de los centros transformadores, o de otros centros del mismo tipo. Su función es almacenar, para posteriormente enviar el producto hacia otros centros que pueden ser transformadores, distribuidores, o consumidores.

Los centros almacenadores pueden estar en condiciones de recibir el material a granel o en sacos; mediante camión, ferrocarril, o barco dependiendo del centro específico de que se trate.

La capacidad de almacenamiento de los centros es variable, y depende del tamaño del mismo, y de las necesidades de consumo de la zona que abastecen.

Centros Transformadores.

Los centros transformadores, además de realizar funciones similares a las de los centros almacenadores, realizan la función de transformación. Dicha función consiste en modificar la presentación del mineral de sa-

cos a granel. La ruptura de los sacos se puede llevar a cabo mediante una cortadora mecánica, o manualmente. El hecho de que la ruptura se lleve a cabo manual o mecánicamente, depende únicamente del equipo disponible en cada centro. Sin embargo, la operación mecánica es superior a la operación manual, en cuanto a los menores volúmenes de merma del mineral.

Centros Distribuidores.

Representan el último eslabón en la distribución de barita antes de que ésta llegue a ser consumida.

Su función es recibir el mineral proveniente de los centros almacenadores y transformadores; almacenarlo el tiempo necesario, y posteriormente distribuirlo a los centros consumidores.

Los centros distribuidores se encuentran localizados cerca de los centros de consumo, y su capacidad depende generalmente de las necesidades de éstos últimos.

Centros Consumidores.

Los centros consumidores se encuentran representados por los pozos petroleros. El número y localización de los pozos es función del grado de desarrollo de cada campo, así como de las características de los yacimien-

tos existentes en el mismo.

En general se puede decir que cada pozo petrolero tiene un consumo promedio de mineral por metro perforado, sin embargo, éste consumo puede variar de acuerdo a las características intrínsecas de las formaciones que se perforan.

Consideraciones del Modelo.

Para efectuar el planteamiento del Modelo de Transporte de Barita y referirlo al Sistema de Petróleos Mexicanos, fué necesario hacer las siguientes consideraciones:

El principal objetivo de un modelo de Transporte es minimizar el costo de transportación de un producto de un conjunto de orígenes a un grupo de destinos, sin tomar en cuenta puntos intermedios. Para tal efecto, el proceso de transportación tendrá varias subetapas; que representarán el recorrido que realiza el mineral de un nodo origen a un nodo destino, a través de la ruta que los une.

Cada centro puede ser a su vez centro destino en una subetapa y centro origen en la siguiente.

Se dará un costo de transportación del mineral para cada ruta entre dos nodos, el cual estará en función del

tipo de transporte utilizado, de la presentación del mineral, y de las condiciones del contrato de transportación.

No se considera a los centros consumidores dentro de la red de transportación debido a que su consumo se encuentra implícito en la demanda de los centros distribuidores.

No son tomados en cuenta gastos extras por demoras no previstas en el transporte.

Se considera que siempre se tienen disponibles medios de transporte para cada ruta y para cada tipo de presentación.

El tiempo empleado en el transporte del centro - origen al centro destino será relativo, y se tomará para un momento dado a través del costo de transportación.

Planteamiento del Modelo.

Descripción:

- m número de orígenes
- n número de destinos
- a_i número de unidades disponibles en el origen
 i (i = 1, 2, ..., m).
- b_j número de unidades requeridas en el destino

- j ($j = 1, 2, \dots, n$)
- C_{ij} costo de transportación por unidad a través de la ruta que une al origen i con el destino j .
- X_{ij} número de unidades embarcadas del origen i al destino j .

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } X_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$\text{Sujeta a: } \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^n b_j = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m X_{ij} \right) = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n X_{ij} \right) = \sum_{i=1}^m a_i$$

VI ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

Para la aplicación del modelo, fueron seleccionados 3 tipos de transporte, con diferente capacidad de carga - cada uno de ellos:

Tipo	Transporte	Capacidad máxima (tons.)	Presentación
01	camión	30	sacos
02	camión	40	sacos
03	camión	25	sacos
04	furgón	50	sacos
05	furgón	70	sacos
06	barco	350	sacos
07	barco	2750	sacos
08	camión	50	granel
09	barco	2750	granel

Para la selección de los transportes, se hicieron entre otras, las siguientes consideraciones:

- a) El tipo de transporte seleccionado para determinada ruta es el mas barato.
- b) El tipo de transporte seleccionado para ésa ruta es el - que se encuentra disponible con mayor frecuencia.
- c) El tipo de transporte seleccionado para ésa ruta es el único disponible.

El algoritmo utilizado para la resolución del modelo

de transporte, involucra un proceso de selección con base en el mínimo costo de transportación.

Para el caso de transportación terrestre por camión, se estableció una ecuación representativa, la cual considera el Kilometraje recorrido, y las tarifas vigentes autorizadas.

En el caso de la transportación terrestre por ferrocarril y la transportación marítima, el costo de ésta dependerá de la zona en que se efectúe, y de la o las compañías transportistas involucradas.

Debido a que se dispone de 9 diferentes tipos de transporte, y a que el modelo elegido toma en cuenta únicamente la producción en el origen, la demanda en el destino, y el costo de transportación entre éstos; será posible obtener un número considerable de combinaciones que proporcionen el costo total de transportación.

A continuación se muestran las posibles combinaciones de transporte para los diferentes arcos entre los centros productores (orígenes), y los centros distribuidores (destinos), así como los costos inherentes a los mismos.

La nomenclatura utilizada será la siguiente:

P	Productor
I	Centro intermedio
T	Tipo de transporte
D	Destino
C	Costo total de transportación/ton.

P	T	I	T	I	T	I	T	D	C
B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	02	R. Ayala	08	Reforma	\$13396.58
B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	04	R. Ayala	08	Reforma	\$11824.14
B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	02	E. Juárez	08	Reforma	\$13373.76
B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	04	E. Juárez	08	Reforma	\$11673.18
B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	02	E. Juárez	03	Campeche	\$14444.51
B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	04	E. Juárez	03	Campeche	\$12743.93

P	T	I	T	I	T	D	C
B. Sonora	02	Guaymas	12	S. Cruz	02	Dos Bocas	\$12179.47

P	T	I	T	I	T	I	T	D	C
Mins. Colima	01	Manzanillo	07	S. Cruz	02	R. Ayala	08	Reforma	\$11735.77
Mins. Colima	01	Manzanillo	07	S. Cruz	04	R. Ayala	08	Reforma	\$10163.33
Mins. Colima	01	Manzanillo	07	S. Cruz	02	E. Juárez	08	Reforma	\$11712.95
Mins. Colima	01	Manzanillo	07	S. Cruz	04	E. Juárez	08	Reforma	\$10012.37
Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	02	R. Ayala	08	Reforma	\$10994.08
Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	04	R. Ayala	08	Reforma	\$ 9421.64
Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	02	E. Juárez	08	Reforma	\$10971.26
Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	04	E. Juárez	08	Reforma	\$ 9270.68
Mins. Colima	01	Manzanillo	07	S. Cruz	02	E. Juárez	03	Campeche	\$12783.70
Mins. Colima	01	Manzanillo	07	S. Cruz	04	E. Juárez	03	Campeche	\$11083.12
Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	02	E. Juárez	03	Campeche	\$12042.01
Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	04	E. Juárez	03	Campeche	\$10341.43

P	T	I	T	I	T	D	C
Mins. Colima	01	Manzanillo	07	S. Cruz	02	Dos Bocas	\$10518.66
Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	02	Dos Bocas	\$ 9776.97

P	T	I	T	D	C
La Mascota	04	E. Juárez	08	Reforma	\$6368.15
La Mascota	04	E. Juárez	03	Campeche	\$7438.9

P	T	D	C		
La Mascota	04	Altamira	\$4011.16		
	P		T	I	T I
Barita de Apatzingán	02	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz	
T	I	T	D	C	
04	E. Juárez	08	Reforma	\$3386.56	
	P		T	I	T I
Barita de Apatzingán	02	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz	
T	I	T	D	C	
04	E. Juárez	08	Reforma	\$11685.98	
	P		T	I	T I
Barita de Apatzingán	02	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz	
T	I	T	D	C	
02	R. Ayala	08	Reforma	\$13409.38	
	P		T	I	T I
Barita de Apatzingán	02	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz	
T	I	T	D	C	
04	R. Ayala	08	Reforma	\$11836.94	
	P		T	I	T I
Barita de Apatzingán	04	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz	
T	I	T	D	C	
02	E. Juárez	08	Reforma	\$12265.06	

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	04	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	I	T	D	C
04 E. Juárez	08	Reforma		\$10564.48

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	04	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	I	T	D	C
02 R. Ayala	08	Reforma		\$12287.88

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	04	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	I	T	D	C
04 R. Ayala	08	Reforma		\$10715.44

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	02	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	I	T	D	C
02 E. Juárez	03	Campeche		\$14457.31

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	02	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	I	T	D	C
04 E. Juárez	03	Campeche		\$12756.73

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	04	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	I	T	D	C
02 E. Juárez	03	Campeche		\$13335.81

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	04	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	I	T	D	C
04	E. Juárez	03	Campeche	\$11635.23

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	02	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	D	C		
02	Dos Bocas	\$12192.27		

P	T	I	T	I
Barita de Apatzingán Michoacán	04	Lázaro Cárdenas	07	Salina Cruz
T	D	C		
02	Dos Bocas	\$11070.77		

P	T	D	C
Moliendas Industriales	01	Monclova	\$3091.62
Moliendas Industriales	04	Monclova	\$2162.63
Moliendas Industriales	01	Reynosa	\$4383.47
Moliendas Industriales	04	Reynosa	\$2754.13

P	T	I	T	D	C
Moliendas Industriales	02	El Chapo	03	Nanchital	\$11157.25
Moliendas Industriales	02	El Chapo	03	El Plan	\$11167.42
Moliendas Industriales	02	El Chapo	04	El Plan	\$10859.25
Moliendas Industriales	02	El Chapo	03	Agua Dulce	\$11356.51
Moliendas Industriales	04	El Chapo	03	Nanchital	\$ 7335.67
Moliendas Industriales	04	El Chapo	03	El Plan	\$ 7363.84
Moliendas Industriales	04	El Chapo	04	El Plan	\$ 7037.67
Moliendas Industriales	04	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 7534.93
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$18426.58
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$13726.58
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$10562.73
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 6673.26
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 7133.58
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 6559.42
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$16539.14
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$11839.14
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 8675.29
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 4785.82
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 5246.14
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 4671.98
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	R. Ayala	03	Campeche	\$12419.74
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	R. Ayala	03	Campeche	\$ 7038.98
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	R. Ayala	08	Reforma	\$11901.42
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	R. Ayala	08	Reforma	\$ 6520.66
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	E. Juárez	08	Reforma	\$11868.7
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	E. Juárez	08	Reforma	\$ 6369.15
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	E. Juárez	03	Campeche	\$12939.45
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	E. Juárez	03	Campeche	\$ 7439.9

P	T	D	C
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	C. del Papaloapan	\$ 8254.17
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	C. del Papaloapan	\$ 3864.17
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Monclova	\$ 3091.62
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Monclova	\$ 1527.66
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	Reynosa	\$ 3309.41
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Reynosa	\$ 2162.63

P	T	I	T	D	C
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	El Chapo	03	Nanchital	\$10820.68
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	El Chapo	03	Nanchital	\$ 5856.13
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	El Chapo	03	El Plan	\$10848.85
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	El Chapo	03	El Plan	\$ 5884.3
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	El Chapo	04	El Plan	\$10522.68
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	El Chapo	04	El Plan	\$ 5558.13
Neg. Min. Eulalio Gutz.	02	El Chapo	03	Agua Dulce	\$11019.94
Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 6055.39
Mins. y Arcillas	02	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$17783.13
Mins. y Arcillas	02	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$13083.13
Mins. y Arcillas	02	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 9919.28
Mins. y Arcillas	02	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 6029.81
Mins. y Arcillas	02	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 6490.13
Mins. y Arcillas	02	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 5915.97
Mins. y Arcillas	04	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$16095.12
Mins. y Arcillas	04	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$11395.12
Mins. y Arcillas	04	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 8231.27
Mins. y Arcillas	04	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 4341.8
Mins. y Arcillas	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 4802.12
Mins. y Arcillas	04	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 4227.96
Mins. y Arcillas	01	R. Ayala	03	Campeche	\$10865.56
Mins. y Arcillas	01	R. Ayala	08	Reforma	\$10347.24
Mins. y Arcillas	04	R. Ayala	03	Campeche	\$ 7925.46
Mins. y Arcillas	04	R. Ayala	08	Reforma	\$ 7407.14

P	T	I	T	D	C
Mins. y Arcillas	02	E. Juárez	03	Campeche	\$11365.47
Mins. y Arcillas	02	E. Juárez	08	Reforma	\$10294.72
Mins. y Arcillas	04	E. Juárez	03	Campeche	\$ 8326.93
Mins. y Arcillas	04	E. Juárez	08	Reforma	\$ 7256.18
Mins. y Arcillas	02	El Chapo	03	Nanchital	\$ 9236.8
Mins. y Arcillas	02	El Chapo	03	El Plan	\$ 9264.97
Mins. y Arcillas	02	El Chapo	04	El Plan	\$ 8938.8
Mins. y Arcillas	02	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 9436.06
Mins. y Arcillas	04	El Chapo	03	Nanchital	\$ 6744.16
Mins. y Arcillas	04	El Chapo	03	El Plan	\$ 6772.33
Mins. y Arcillas	04	El Chapo	04	El Plan	\$ 6446.16
Mins. y Arcillas	04	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 6943.42

P	T	D	C
Mins. y Arcillas	04	Cd. Pemex	\$ 6359.12
Mins. y Arcillas	02	Reynosa	\$ 2685.76
Mins. y Arcillas	04	Reynosa	\$ 1586.65

P	T	I	T	D	C
Baramín Monterrey	02	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$17684.14
Baramín Monterrey	02	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$12984.14
Baramín Monterrey	02	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 9820.29
Baramín Monterrey	02	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 5930.82
Baramín Monterrey	02	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 6391.14
Baramín Monterrey	02	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 5816.98
Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$16022.16
Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$11322.16
Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 8158.31
Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 4268.84
Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 4729.16
Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 4155
Baramín Monterrey	02	R. Ayala	03	Comalcalco	\$10766.57

P	T	I	T	D	C
Baramfn Monterrey	02	R. Ayala	08	Reforma	\$10248.25
Baramfn Monterrey	04	R. Ayala	03	Comalcalco	\$ 7925.46
Baramfn Monterrey	04	R. Ayala	08	Reforma	\$ 7407.14
Baramfn Monterrey	02	E. Juárez	03	Comalcalco	\$11014.05
Baramfn Monterrey	02	E. Juárez	08	Reforma	\$10495.73
Baramfn Monterrey	04	E. Juárez	03	Comalcalco	\$ 8326.93
Baramfn Monterrey	04	E. Juárez	08	Reforma	\$ 7256.18
Baramfn Monterrey	02	El Chapo	03	Nanchital	\$ 9137.81
Baramfn Monterrey	02	El Chapo	03	El Plan	\$ 9165.98
Baramfn Monterrey	02	El Chapo	04	El Plan	\$ 8839.81
Baramfn Monterrey	02	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 9337.07
Baramfn Monterrey	04	El Chapo	03	Nanchital	\$ 6744.16
Baramfn Monterrey	04	El Chapo	03	El Plan	\$ 6772.33
Baramfn Monterrey	04	El Chapo	04	El Plan	\$ 6446.16
Baramfn Monterrey	04	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 6943.42

P	T	D	C
Baramfn Monterrey	02	Monclova	\$ 2408.58
Baramfn Monterrey	04	Monclova	\$ 1557.15

p	T	I	T	D	C
Baramfn Linares	02	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$17189.18
Baramfn Linares	02	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$12489.18
Baramfn Linares	02	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 9325.33
Baramfn Linares	02	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 5435.86
Baramfn Linares	02	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 5896.18
Baramfn Linares	02	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 5322.02
Baramfn Linares	04	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$15578.14
Baramfn Linares	04	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$10878.14
Baramfn Linares	04	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 7714.29
Baramfn Linares	04	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 3824.82
Baramfn Linares	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 4285.14

P	T	I	T	D	C
Baramín Linares	04	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 3710.98
Baramín Linares	02	E. Juárez	03	Campeche	\$10623.03
Baramín Linares	02	E. Juárez	08	Reforma	\$ 9552.28
Baramín Linares	04	E. Juárez	03	Campeche	\$ 8769.39
Baramín Linares	04	E. Juárez	08	Reforma	\$ 7698.64
Baramín Linares	02	El Chapo	03	Nanchital	\$ 8494.36
Baramín Linares	02	El Chapo	03	El Plan	\$ 8522.53
Baramín Linares	02	El Chapo	04	El Plan	\$ 8196.36
Baramín Linares	02	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 8693.62
Baramín Linares	04	El Chapo	03	Nanchital	\$ 7188.18
Baramín Linares	04	El Chapo	03	El Plan	\$ 7216.35
Baramín Linares	04	El Chapo	04	El Plan	\$ 6890.18
Baramín Linares	04	El Chapo	03	Agua Dulce	\$ 7387.44

P	T	D	C
Baramín Linares	02	C. del Papaloapan	\$ 6249.47
Baramín Linares	04	C. del Papaloapan	\$ 5342.15
Baramín Linares	02	Reynosa	\$ 2685.76
Baramín Linares	04	Reynosa	\$ 2089.66

p	T	I	T	D	C
Bentonita de México	02	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$17189.18
Bentonita de México	02	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$12489.18
Bentonita de México	02	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 9325.33
Bentonita de México	02	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 5435.86
Bentonita de México	02	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 5896.18
Bentonita de México	02	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 5322.02
Bentonita de México	05	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$15578.14
Bentonita de México	05	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$10878.14
Bentonita de México	05	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 7714.29
Bentonita de México	05	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 3824.82

P	T	I	T	D	C
Bentonita de México	05	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 4285.14
Bentonita de México	05	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 3710.98
Bentonita de México	02	E. Juárez	03	Campeche	\$10623.03
Bentonita de México	02	E. Juárez	08	Reforma	\$ 9552.28
Bentonita de México	04	E. Juárez	03	Campeche	\$ 8769.39
Bentonita de México	04	E. Juárez	08	Reforma	\$ 7698.64

P	T	D	C
Bentonita de México	02	C. del Papaloapan	\$ 6249.42
Bentonita de México	04	C. del Papaloapan	\$ 5342.15
Bentonita de México	02	Reynosa	\$ 2685.76
Bentonita de México	04	Reynosa	\$ 2089.66

P	T	I	T	D	C
Cfa. Min. Guadalcazar	02	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$17189.18
Cfa. Min. Guadalcazar	02	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$12489.18
Cfa. Min. Guadalcazar	02	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 9325.33
Cfa. Min. Guadalcazar	02	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 5435.86
Cfa. Min. Guadalcazar	02	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 5896.18
Cfa. Min. Guadalcazar	02	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 5322.02
Cfa. Min. Guadalcazar	04	Arbol Grande	06	Dos Bocas	\$15578.14
Cfa. Min. Guadalcazar	04	Arbol Grande	09	Dos Bocas	\$10878.14
Cfa. Min. Guadalcazar	04	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	\$ 7714.29
Cfa. Min. Guadalcazar	04	Arbol Grande	01	Ebano	\$ 3824.82
Cfa. Min. Guadalcazar	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul	\$ 4285.14
Cfa. Min. Guadalcazar	04	Arbol Grande	01	Altamira	\$ 3710.98
Cfa. Min. Guadalcazar	02	E. Juárez	03	Campeche	\$10623.03
Cfa. Min. Guadalcazar	02	E. Juárez	08	Reforma	\$ 9552.28
Cfa. Min. Guadalcazar	04	E. Juárez	03	Campeche	\$ 8768.89
Cfa. Min. Guadalcazar	04	E. Juárez	08	Reforma	\$ 7698.14

P	T	D	C
Cfa. Min. Guadalucazar	02	Monclova	\$ 3081.72
Cfa. Min. Guadalucazar	04	Monclova	\$ 2015.14
Cfa. Min. Guadalucazar	02	Reynosa	\$ 2685.76
Cfa. Min. Guadalucazar	04	Reynosa	\$ 2089.66

P	T	D	C
Barita de Apatzingán Puebla	03	Poza Rica	\$ 1854.22

P	T	I	T	D	C
Baricosta	01	R. Ayala	03	Campeche	\$ 3396.62
Baricosta	01	R. Ayala	08	Reforma	\$ 2878.3

Si seleccionáramos aquéllas combinaciones de transportación que proporcionan los mínimos costos para los diferentes arcos, las combinaciones seleccionadas serían las siguientes:

Origen	Destino	Costo
1. Barita de Sonora	a) Reforma	\$11673.18
	b) Campeche	\$12743.93
	c) Dos Bocas	\$12179.47

P	T	I	T	I	T	I	T	D
1.a) B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	04	E. Juárez	08	Reforma
1.b) B. Sonora	02	Guaymas	06	S. Cruz	04	E. Juárez	03	Campeche

P	T	I	T	I	T	D
1.c) B. Sonora	02	Guaymas	12	Salina Cruz	02	Dos Bocas

Origen	Destino	Costo
2. Minerales de Colima	a) Reforma	\$ 9270.68
	b) Campeche	\$10341.43
	c) Dos Bocas	\$ 9776.97

P	T	I	T	I	T	I	T	D
2.a) Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	04	E. Juárez	08	Reforma
2.b) Mins. Colima	04	Manzanillo	07	S. Cruz	04	E. Juárez	03	Campeche
P	T	I	T	I	T	D		
2.c) Mins. Colima	04	Manzanillo	07	Salina Cruz	02	Dos Bocas		

Origen	Destino	Costo
3. La Mascota	a) Reforma	\$ 6368.15
	b) Campeche	\$ 7438.90
	c) Altamira	\$ 4011.16

P	T	I	T	D
3.a) La Mascota	04	E. Juárez	08	Reforma
3.b) La Mascota	04	E. Juárez	03	Campeche
P	T	D		
3.c) La Mascota	04	Altamira		

Origen	Destino	Costo
4. Barita Apatzingán Michoacán	a) Reforma	\$10564.48
	b) Campeche	\$11635.23
	c) Dos Bocas	\$11070.77

P	T	I	T
4.a) Barita de Apatzingán Michoacán	04	Lázaro Cárdenas	07
I	T	I	T
Salina Cruz	04	E. Juárez	08
			Reforma

P T I T
 4.b) Barita de Apatzingán Michoacán 04 Lázaro Cárdenas 07

I T I T D
 Salina Cruz 04 E. Juárez 03 Campeche

P T I T
 4.c) Barita de Apatzingán Michoacán 04 Lázaro Cárdenas 07

I T D
 Salina Cruz 02 Dos Bocas

Origen	Destino	Costo
5. Moliendas Industriales	a) Monclova	\$ 2162.63
	b) Reynosa	\$ 2754.13
	c) Nanchital	\$ 7335.67
	d) El Plan	\$ 7037.67
	e) Agua Dulce	\$ 7534.93

P T D
 5.a) Moliendas Industriales 04 Monclova
 5.b) Moliendas Industriales 04 Reynosa

P T I T D
 5.c) Moliendas Industriales 04 El Chapo 03 Nanchital
 5.d) Moliendas Industriales 04 El Chapo 04 El Plan
 5.e) Moliendas Industriales 04 El Chapo 03 Agua Dulce

Origen	Destino	Costo
6. Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	a) Dos Bocas	\$11839.14
	b) Cd. Pemex	\$ 8675.29
	c) Ebano	\$ 4785.82
	d) Cerro Azul	\$ 5246.14
	e) Altamira	\$ 4671.98
	f) Campeche	\$ 7038.98
	g) Reforma	\$ 6369.15

h) Nanchital	\$ 5856.13
i) El Plan	\$ 5558.13
j) Agua Dulce	\$ 6055.39
k) C. del Papaloapan	\$ 3864.17
l) Monclova	\$ 1527.66
m) Reynosa	\$ 2162.63

	P	T	I	T	D
6.a) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	09	Dos Bocas	
6.b) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	06	Cd. Pemex	
6.c) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	01	Ebano	
6.d) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul	
6.e) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Arbol Grande	01	Altamira	
6.f) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	R. Ayala	03	Campeche	
6.g) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	E. Juárez	08	Reforma	
6.h) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	El Chapo	03	Nanchital	
6.i) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	El Chapo	04	El Plan	
6.j) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	El Chapo	03	Agua Dulce	

	P	T	D
6.k) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Cd. del Papaloapan	
6.l) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Monclova	
6.m) Neg. Min. Eulalio Gutz.	04	Reynosa	

Origen	Destino	Costo
7. Minerales y Arcillas	a) Dos Bocas	\$11395.12
	b) Cd. Pemex	\$ 6359.12
	c) Ebano	\$ 4341.80
	d) Cerro Azul	\$ 4802.12
	e) Altamira	\$ 4227.96
	f) Campeche	\$ 7925.46
	g) Reforma	\$ 7256.18

h) Reynosa	\$ 1586.65
i) Nanchital	\$ 6744.16
j) El Plan	\$ 6446.16
k) Agua Dulce	\$ 6943.42

P	T	I	T	D
7.a) Minerales y Arcillas	04	Arbol Grande	15	Dos Bocas
7.c) Minerales y Arcillas	04	Arbol Grande	01	Ebano
7.d) Minerales y Arcillas	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul
7.e) Minerales y Arcillas	04	Arbol Grande	01	Altamira
7.f) Minerales y Arcillas	04	Roberto Ayala	03	Campeche
7.g) Minerales y Arcillas	04	E. Juárez	13	Reforma
7.i) Minerales y Arcillas	04	El Chapo	03	Nanchital
7.j) Minerales y Arcillas	04	El Chapo	04	El Plan
7.k) Minerales y Arcillas	04	El Chapo	03	Agua Dulce

P	T	D
7.b) Minerales y Arcillas	04	Cd. Pemex
7.h) Minerales y Arcillas	04	Reynosa

Origen	Destino	Costo
8. Baramín Monterrey	a) Dos Bocas	\$11322.16
	b) Cd. Pemex	\$ 8158.31
	c) Ebano	\$ 4268.84
	d) Cerro Azul	\$ 4729.16
	e) Altamira	\$ 4155
	f) Campeche	\$ 7925.46
	g) Reforma	\$ 7256.18
	h) Nanchital	\$ 6744.16
	i) El Plan	\$ 6446.16
	j) Agua Dulce	\$ 6943.42
	k) Monclova	\$ 1557.15

P	T	I	T	D
8.a) Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	15	Dos Bocas
8.b) Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	09	Cd. Pemex
8.c) Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	01	Ebano
8.d) Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul
8.e) Baramín Monterrey	04	Arbol Grande	01	Altamira
8.f) Baramín Monterrey	04	Roberto Ayala	03	Campeche
8.g) Baramín Monterrey	04	E. Juárez	13	Reforma
8.h) Baramín Monterrey	04	El Chapo	03	Nanchital
8.i) Baramín Monterrey	04	El Chapo	04	El Plan
8.j) Baramín Monterrey	04	El Chapo	03	Agua Dulce

P	T	D
8.k) Baramín Monterrey	04	Monclova

Origen	Destino	Costo
9. Baramín Linares	a) Dos Bocas	\$10878.14
	b) Cd. Pemex	\$ 7714.29
	c) Ebano	\$ 3824.82
	d) Cerro Azul	\$ 4285.14
	e) Altamira	\$ 3710.98
	f) Campeche	\$ 8769.39
	g) Reforma	\$ 7698.64
	h) Nanchital	\$ 7188.18
	i) El Plan	\$ 6890.18
	j) Agua Dulce	\$ 7387.44
	k) C. del Papaloapan	\$ 5342.15
	l) Reynosa	\$ 2089.66

P	T	I	T	D
9.a) Baramín Linares	04	Arbol Grande	15	Dos Bocas
9.b) Baramín Linares	04	Arbol Grande	09	Cd. Pemex
9.c) Baramín Linares	04	Arbol Grande	01	Ebano
9.d) Baramín Linares	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul
9.e) Baramín Linares	04	Arbol Grande	01	Altamira
9.f) Baramín Linares	04	E. Juárez	03	Campeche
9.g) Baramín Linares	04	E. Juárez	13	Reforma
9.h) Baramín Linares	04	El Chapo	03	Nanchital
9.i) Baramín Linares	04	El Chapo	04	El Plan
9.j) Baramín Linares	04	El Chapo	03	Agua Dulce

P	T	D
9.k) Baramín Linares	04	C. del Papaloapan
9.l) Baramín Linares	04	Reynosa

Origen	Destino	Costo
10. Bentonita de México	a) Dos Bocas	\$10878.14
	b) Cd. Pemex	\$ 7714.29
	c) Ebano	\$ 3824.82
	d) Cerro Azul	\$ 4285.14
	e) Altamira	\$ 3710.98
	f) Campeche	\$ 8769.39
	g) Reforma	\$ 7698.64
	h) C. del Papaloapan	\$ 5342.15
	i) Reynosa	\$ 2089.66

P	T	I	T	D
10.a) Bentonita de México	05	Arbol Grande	15	Dos Bocas
10.b) Bentonita de México	05	Arbol Grande	09	Cd. Pemex
10.c) Bentonita de México	05	Arbol Grande	01	Ebano
10.d) Bentonita de México	05	Arbol Grande	01	Cerro Azul
10.e) Bentonita de México	05	Arbol Grande	01	Altamira
10.f) Bentonita de México	04	E. Juárez	03	Campeche
10.g) Bentonita de México	04	E. Juárez	13	Reforma

P	T	D
10.h) Bentonita de México	04	C. del Papaloapan
10.i) Bentonita de México	04	Reynosa

Origen	Destino	Costo
11. Cfa Min. Guadalucazar	a) Dos Bocas	\$10878.14
	b) Cd. Pemex	\$ 7714.29
	c) Ebano	\$ 3824.82
	d) Cerro Azul	\$ 4285.14
	e) Altamira	\$ 3710.98
	f) Campeche	\$ 8768.89
	g) Reforma	\$ 7698.14
	i) Monclova	\$ 2015.14
	j) Reynosa	\$ 2089.66

P	T	I	T	D
11.a) Cfa Min. Guadalucazar	04	Arbol Grande	15	Dos Bocas
11.b) Cfa Min. Guadalucazar	04	Arbol Grande	09	Cd. Pemex
11.c) Cfa Min. Guadalucazar	04	Arbol Grande	01	Ebano
11.d) Cfa Min. Guadalucazar	04	Arbol Grande	01	Cerro Azul
11.e) Cfa Min. Guadalucazar	04	Arbol Grande	01	Altamira
11.f) Cfa Min. Guadalucazar	04	E. Juárez	03	Campeche
11.g) Cfa Min. Guadalucazar	04	E. Juárez	13	Reforma

P	T	D
11.i) Cfa Min. Guadalucazar	04	Monclova
11.j) Cfa Min. Guadalucazar	04	Reynosa

Origen	Destino	Costo
12. Barita de Apatzingán Puebla	a) Poza Rica	\$ 1854.22

Origen	Destino	Costo
13. Baricosta	a) Campeche	\$ 3396.62
	b) Reforma	\$ 2878.30

P	T	I	T	D
13.a) Baricosta	01	R. Ayala	03	Campeche
13.b) Baricosta	01	R. Ayala	13	Reforma

Las alternativas anteriores proporcionan los mínimos costos de trans--
portación para los diferentes arcos del sistema; y por lo tanto, serán los cos
tos a utilizar para obtener la minimización del costo total de transportación.

VII PROGRAMA DE COMPUTO

El algoritmo de solución para resolver el problema de transporte está orientado a su solución manual. Dicho algoritmo requiere de la intuición, para reconocer caminos cerrados y efectuar movimientos en esquinas con variables básicas que permitan la determinación del valor de la variable que sale de la base. Asimismo, el cálculo de los costos modificados requiere, ya sea la identificación de otros caminos cerrados, o la determinación de variables duales cuyo orden de cálculo se hace también utilizando la misma cualidad.

Por lo tanto, en un problema como el que se tiene -- en el Sistema de Petróleos Mexicanos; en el cual existen 13 orígenes, 14 destinos, 85 variables, y 20 restricciones, no sería práctico inclinarse por la solución manual.

Es por esto, que para encontrar una solución inicial y evaluar cada prueba, se utiliza un algoritmo Simplex y la restricción adicional de que un cierto número de variables son enteras.

Objetivo.

Mediante el programa se obtiene el mínimo de una función lineal multivariable, sujeta a restricciones lineales, en las cuales algunas o todas las variables pueden estar -- restringidas a valores enteros:

$$\text{Minimizar } F = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_NX_N + C_{N+1}Y_{N+1} + \dots + C_NY_N$$

$$\text{Sujeto a } A_{ij}X_j + A_{ik}Y_k \leq, =, \geq b_i \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, N_1 \\ k = N_1+1, \dots, N \end{array}$$

X_j son cada uno enteros y sujetos o una cota superior

$Y_k \geq 0$

Planteamiento del Modelo

Variables utilizadas

Ruta Correspondiente

X1	Barita de Sonora	Dos Bocas
X2	Barita de Sonora	Reforma
X3	Barita de Sonora	Comalcalco
X4	Minerales de Colima	Dos Bocas
X5	Minerales de Colima	Reforma
X6	Mins. Colima	Comalcalco
X7	La Mascota	Reforma
X8	La Mascota	Comalcalco
X9	La Mascota	Altamira
X10	Barita de Apatzingán	Dos Bocas
X11	Barita de Apatzingán	Reforma
X12	Barita de Apatzingán	Comalcalco
X13	Moliendas Industriales	Nanchital
X14	Moliendas Industriales	Monclova
X15	Moliendas Industriales	Reynosa
X16	Moliendas Industriales	El Plan
X17	Moliendas Industriales	Agua Dulce
X18	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Nanchital
X19	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Dos Bocas
X20	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	El Bayo

X21	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Ebano
X22	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Reforma
X23	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Cerro Azul
X24	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Tinajas
X25	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Monclova
X26	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Reynosa
X27	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	El Plan
X28	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Agua Dulce
X29	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Comalcalco
X30	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez	Altamira
X31	Minerales y Arcillas	Nanchital
X32	Minerales y Arcillas	Dos Bocas
X33	Minerales y Arcillas	El Bayo
X34	Minerales y Arcillas	Ebano
X35	Minerales y Arcillas	Reforma
X36	Minerales y Arcillas	Cerro Azul
X37	Minerales y Arcillas	Reynosa
X38	Minerales y Arcillas	El Plan
X39	Minerales y Arcillas	Agua Dulce
X40	Minerales y Arcillas	Comalcalco
X41	Minerales y Arcillas	Altamira
X42	Baramín Monterrey	Nanchital
X43	Baramín Monterrey	Dos Bocas
X44	Baramín Monterrey	El Bayo
X45	Baramín Monterrey	Ebano
X46	Baramín Monterrey	Reforma
X47	Baramín Monterrey	Cerro Azul
X48	Baramín Monterrey	Monclova
X49	Baramín Monterrey	El Plan
X50	Baramín Monterrey	Agua Dulce
X51	Baramín Monterrey	Comalcalco
X52	Baramín Monterrey	Altamira
X53	Baramín Linares	Nanchital
X54	Baramín Linares	Dos Bocas

X55	Baramín Linares	El Bayo
X56	Baramín Linares	Ebano
X57	Baramín Linares	Reforma
X58	Baramín Linares	Cerro Azul
X59	Baramín Linares	Tinajas
X60	Baramín Linares	Reynosa
X61	Baramín Linares	El Plan
X62	Baramín Linares	Agua-Dulce
X63	Baramín Linares	Comalcalco
X64	Baramín Linares	Altamira
X65	Bentonita de México	Dos Bocas
X66	Bentonita de México	El Bayo
X67	Bentonita de México	Ebano
X68	Bentonita de México	Reforma
X69	Bentonita de México	Cerro Azul
X70	Bentonita de México	Tinajas
X71	Bentonita de México	Reynosa
X72	Bentonita de México	Comalcalco
X73	Bentonita de México	Altamira
X74	Cía Minera Guadalcazar	Dos Bocas
X75	Cía Minera Guadalcazar	El Bayo
X76	Cía Minera Guadalcazar	Ebano
X77	Cía Minera Guadalcazar	Reforma
X78	Cía Minera Guadalcazar	Cerro Azul
X79	Cía Minera Guadalcazar	Monclova
X80	Cía Minera Guadalcazar	Reynosa
X81	Cía Minera Guadalcazar	Comalcalco
X82	Cía Minera Guadalcazar	Altamira
X83	Barita de Apatzingán	Poza Rica
X84	Baricosta	Reforma
X85	Baricosta	Comalcalco

Función Objetivo a Minimizar.

$$\begin{aligned}
 \text{F. Obj: } & 12179.47 X_1 + 11673.18 X_2 + 12743.93 X_3 + 9776.97 X_4 + 9270.68 X_5 + \\
 & 10341.43 X_6 + 6368.15 X_7 + 7438.9 X_8 + 4011.16 X_9 + 11070.77 X_{10} + 10564.48 \\
 & X_{11} + 11635.23 X_{12} + 7335.67 X_{13} + 2162.63 X_{14} + 2754.13 X_{15} + 7037.67 X_{16} + \\
 & 7534.93 X_{17} + 5856.13 X_{18} + 11839.14 X_{19} + 8675.29 X_{20} + 4785.82 X_{21} + \quad - \\
 & 6369.15 X_{22} + 5246.14 X_{23} + 3864.17 X_{24} + 1527.66 X_{25} + 2162.63 X_{26} + \quad - \\
 & 5558.13 X_{27} + 6055.39 X_{28} + 7038.98 X_{29} + 4671.98 X_{30} + 6744.16 X_{31} + 11395.12 \\
 & X_{32} + 6359.12 X_{33} + 4341.80 X_{34} + 7256.18 X_{35} + 4802.12 X_{36} + 1586.65 X_{37} + \\
 & 6446.16 X_{38} + 6943.42 X_{39} + 7925.46 X_{40} + 4227.96 X_{41} + 6744.16 X_{42} + \quad - \\
 & 11322.16 X_{43} + 8158.31 X_{44} + 4268.84 X_{45} + 7256.18 X_{46} + 4729.16 X_{47} + \quad - \\
 & 1557.15 X_{48} + 6446.16 X_{49} + 6943.42 X_{50} + 7925.46 X_{51} + 4155 X_{52} + 7188.18 \\
 & X_{53} + 10878.14 X_{54} + 7714.29 X_{55} + 3824.82 X_{56} + 7698.64 X_{57} + 4285.14 X_{58} + \\
 & 5342.15 X_{59} + 2089.66 X_{60} + 6890.18 X_{61} + 7387.44 X_{62} + 8769.39 X_{63} + 3710.98 \\
 & X_{64} + 10878.14 X_{65} + 7714.29 X_{66} + 3824.82 X_{67} + 7698.64 X_{68} + 4285.14 X_{69} + \\
 & 5342.15 X_{70} + 2089.66 X_{71} + 8769.39 X_{72} + 3710.98 X_{73} + 10878.14 X_{74} + \quad - \\
 & 7714.29 X_{75} + 3824.82 X_{76} + 7698.14 X_{77} + 4285.14 X_{78} + 2015.14 X_{79} + \quad - \\
 & 2089.66 X_{80} + 8768.89 X_{81} + 3710.98 X_{82} + 1854.22 X_{83} + 2378.30 X_{84} + \quad - \\
 & 3396.62 X_{85}.
 \end{aligned}$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned}
 X_2 + X_3 + X_4 & \leq 10\ 000 \\
 X_5 + X_6 + X_7 & \leq 10\ 000 \\
 X_8 + X_9 + X_{10} & \leq 500 \\
 X_{11} + X_{12} + X_{13} & \leq 4\ 000 \\
 X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} & \leq 500 \\
 X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{30} & \leq 4000 \\
 X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{40} + X_{41} & \leq 8400 \\
 X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{50} + X_{51} + X_{52} & \leq 1000 \\
 X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{60} + X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} & \leq 4000 \\
 X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{70} + X_{71} + X_{72} + X_{73} & \leq 1400 \\
 X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{80} + X_{81} + X_{82} & \leq 1200 \\
 X_{83} & \leq 1200
 \end{aligned}$$

$$X84+X85 \leq 5000$$

$$X13+X18+X31+X42+X53 \geq 10596$$

$$X1 + X4 + X10 + X19 + X32 + X43 + X54 + X65 + X74 \geq 13296$$

$$X20 + X33 + X44 + X55 + X66 + X75 \geq 6812$$

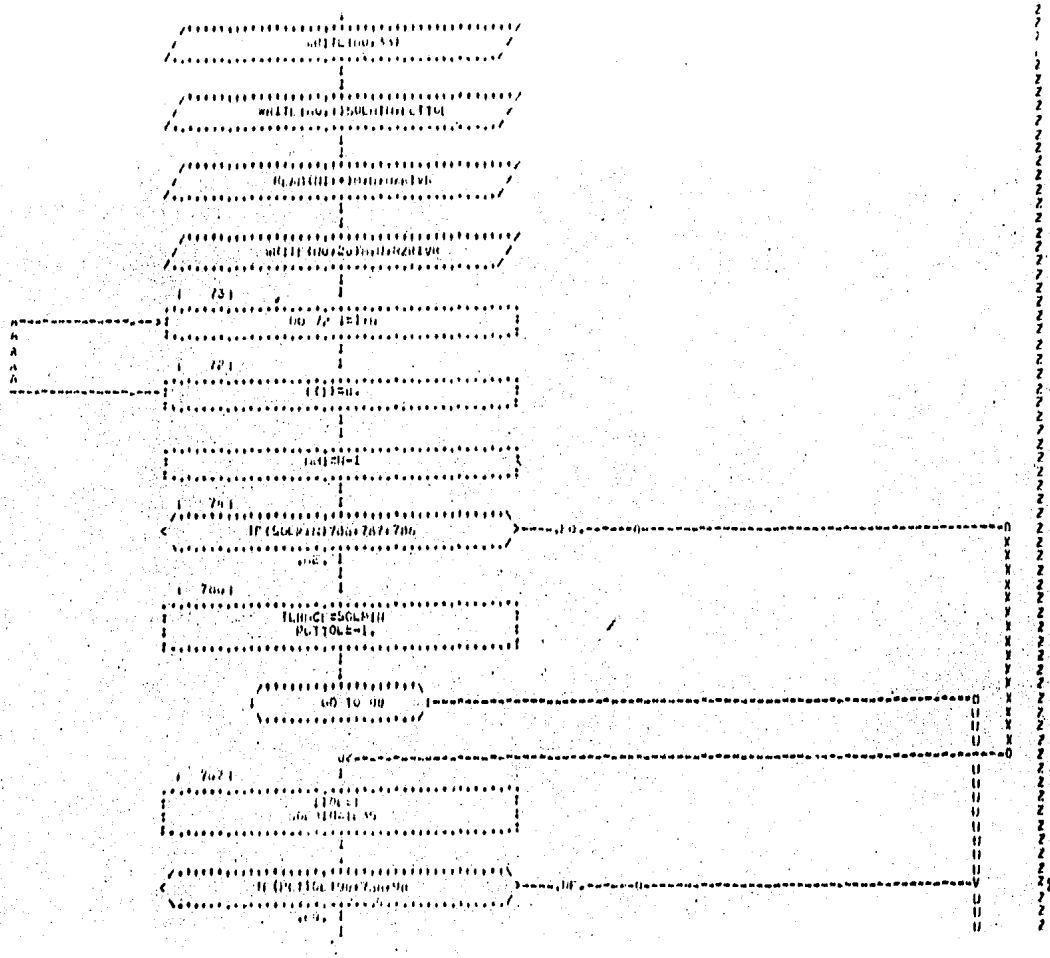
$$X21 + X34 + X45 + X56 + X67 + X76 \geq 750$$

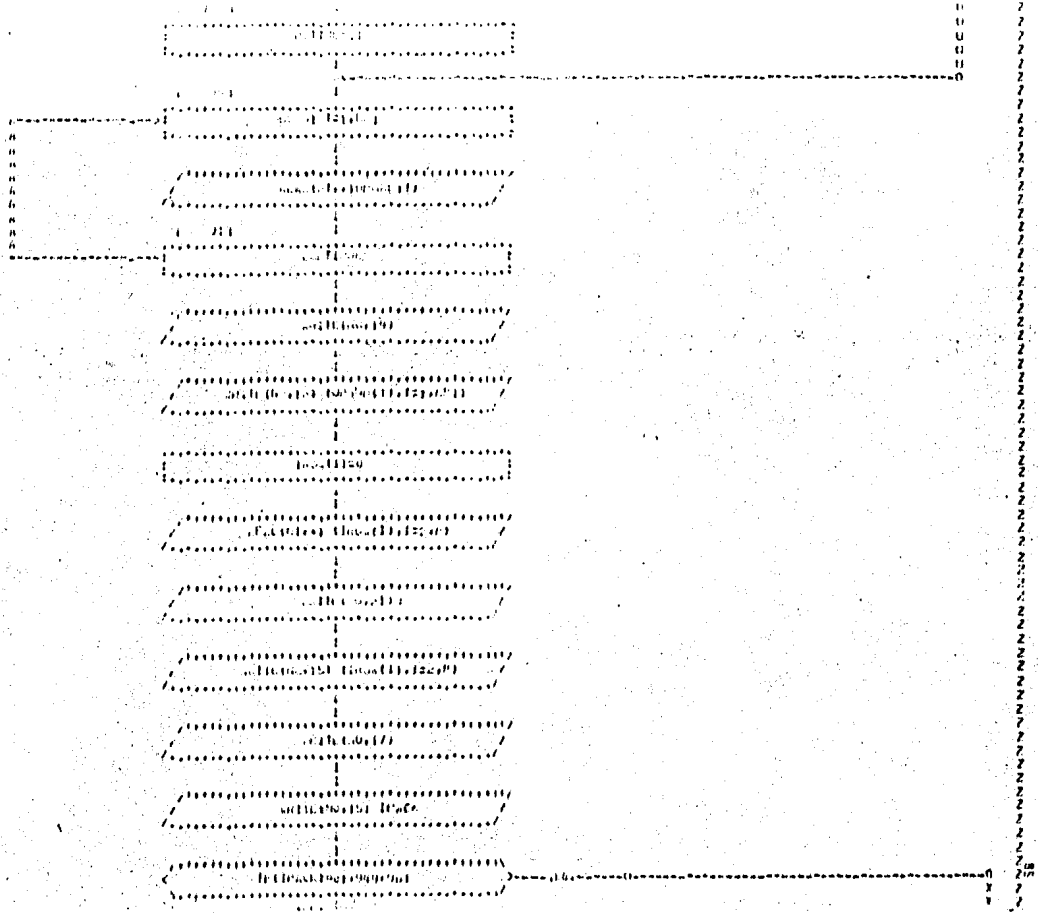
$$X2 + X5 + X7 + X11 + X22 + X35 + X46 + X57 + X68 + X77 + X84 \geq 4800$$

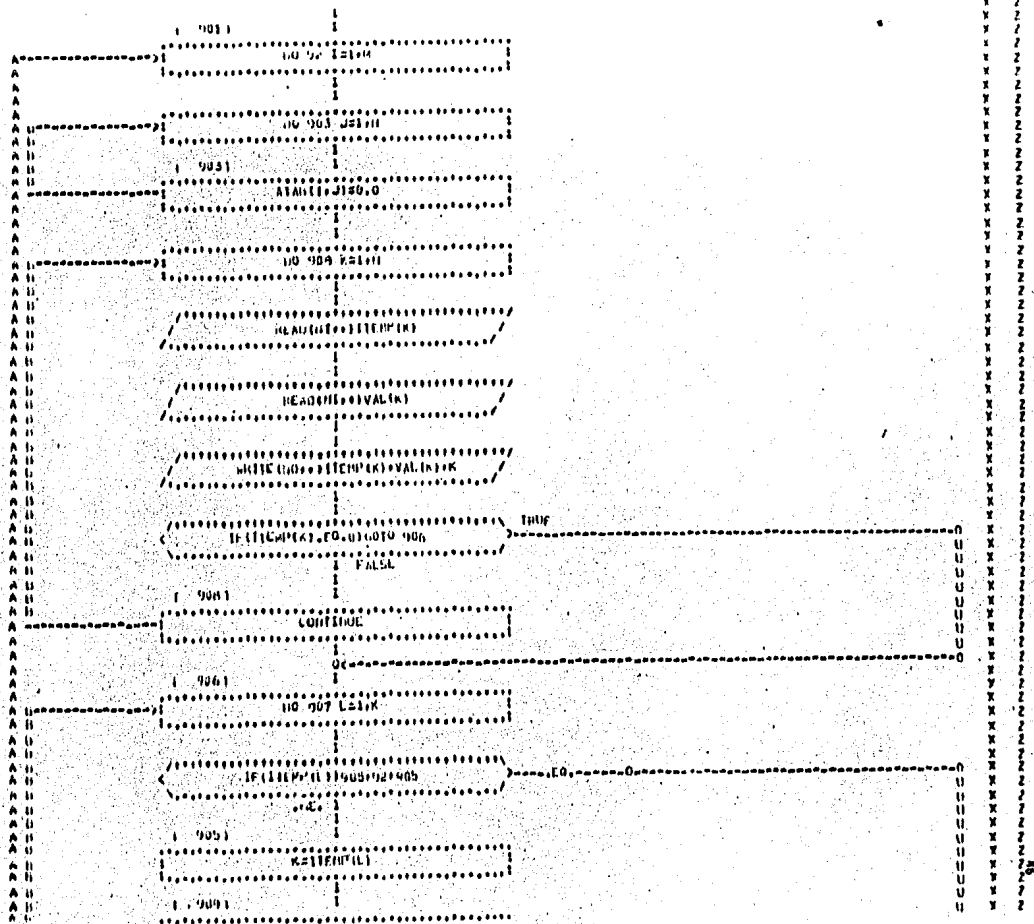
$$X23 + X36 + X47 + X58 + X69 + X78 \geq 750$$

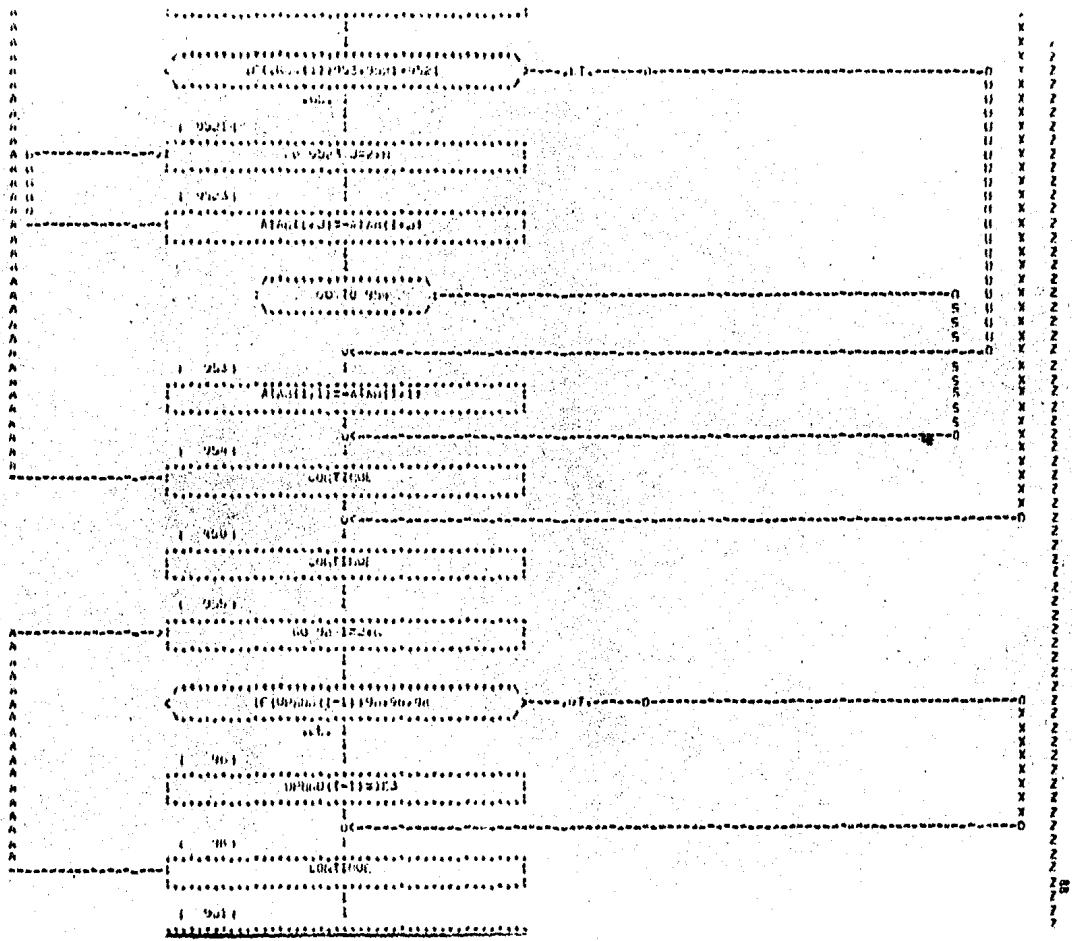
$$X83 \geq 1200$$

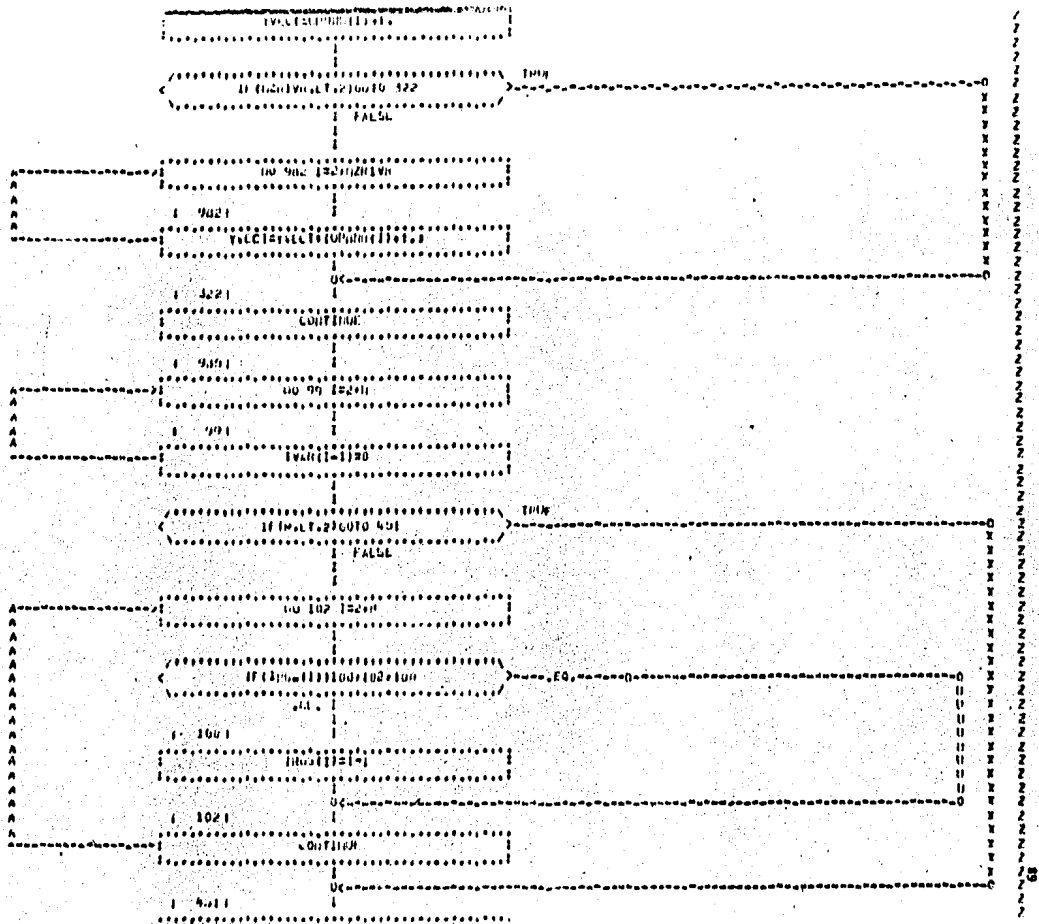
A continuación se muestra el Diagrama de Flujo y el Listado del Programa de Cómputo utilizado, así como los resultados obtenidos con el programa.

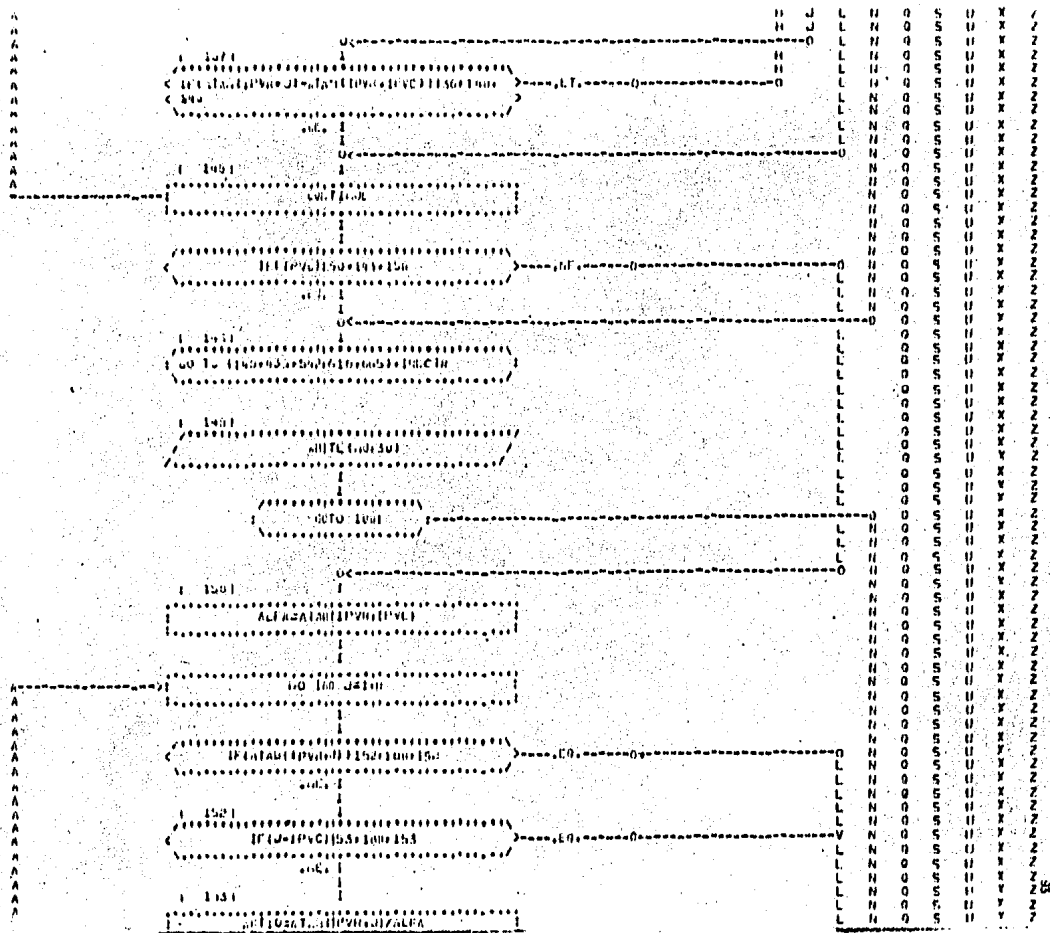


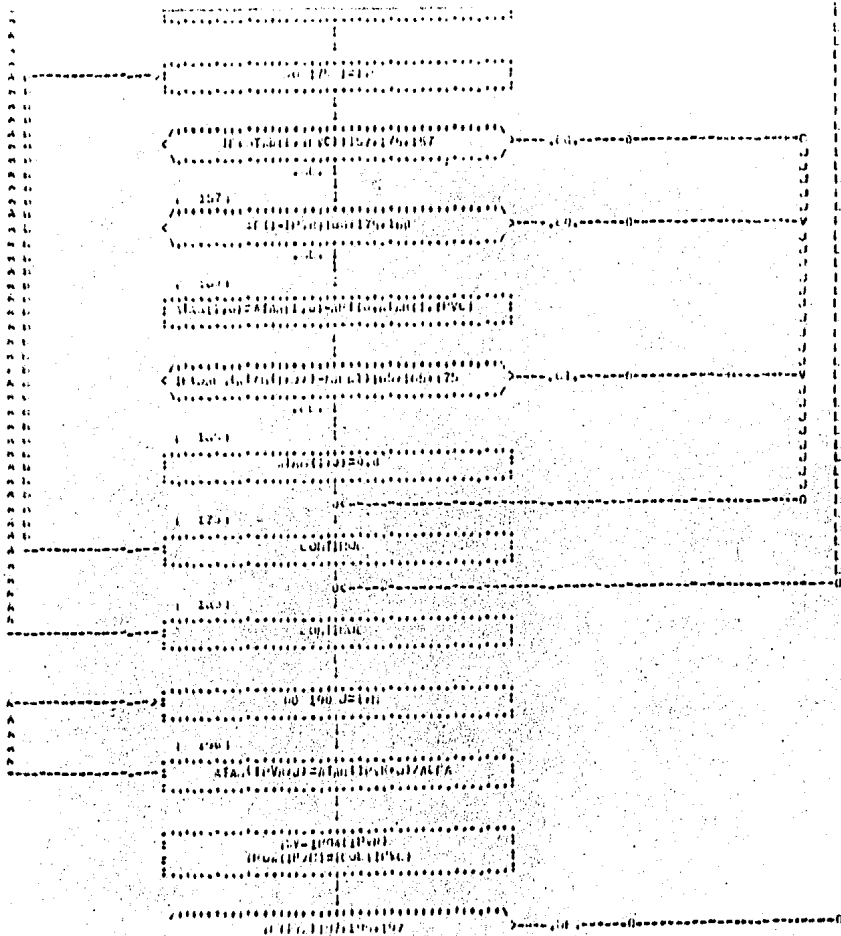




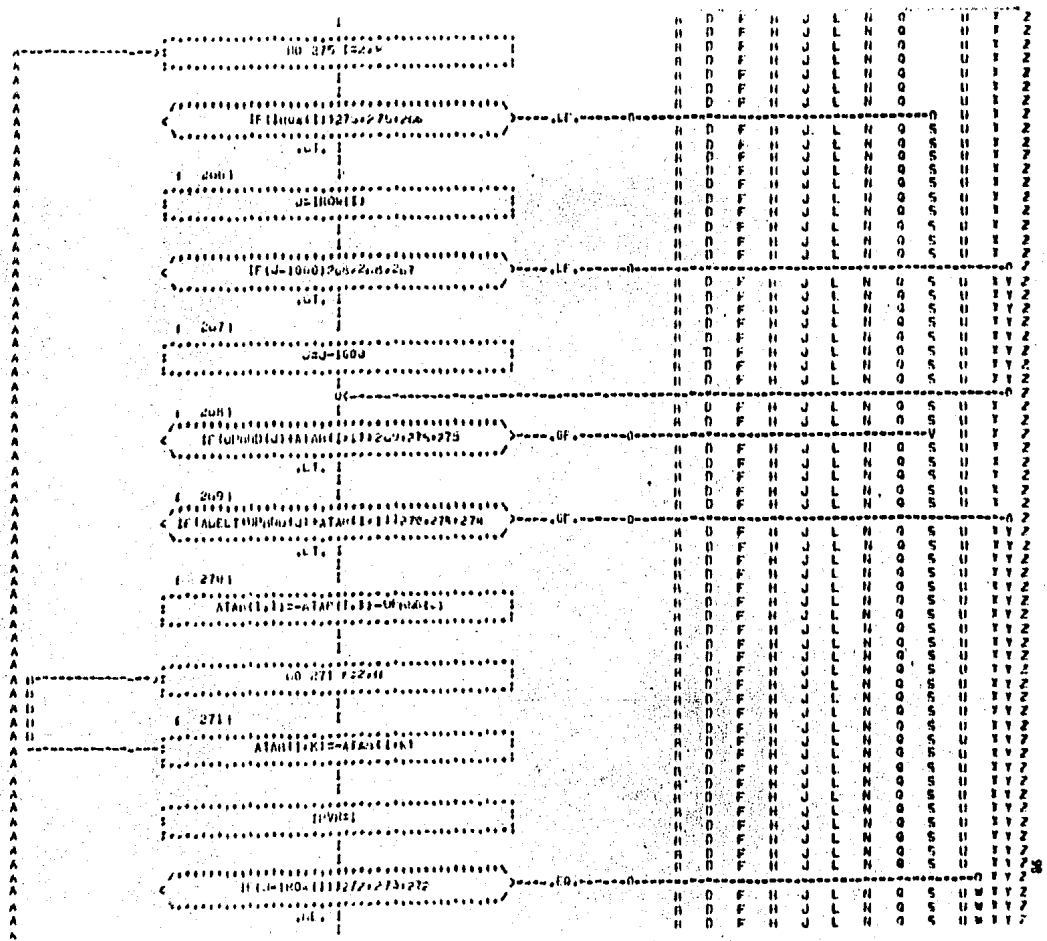


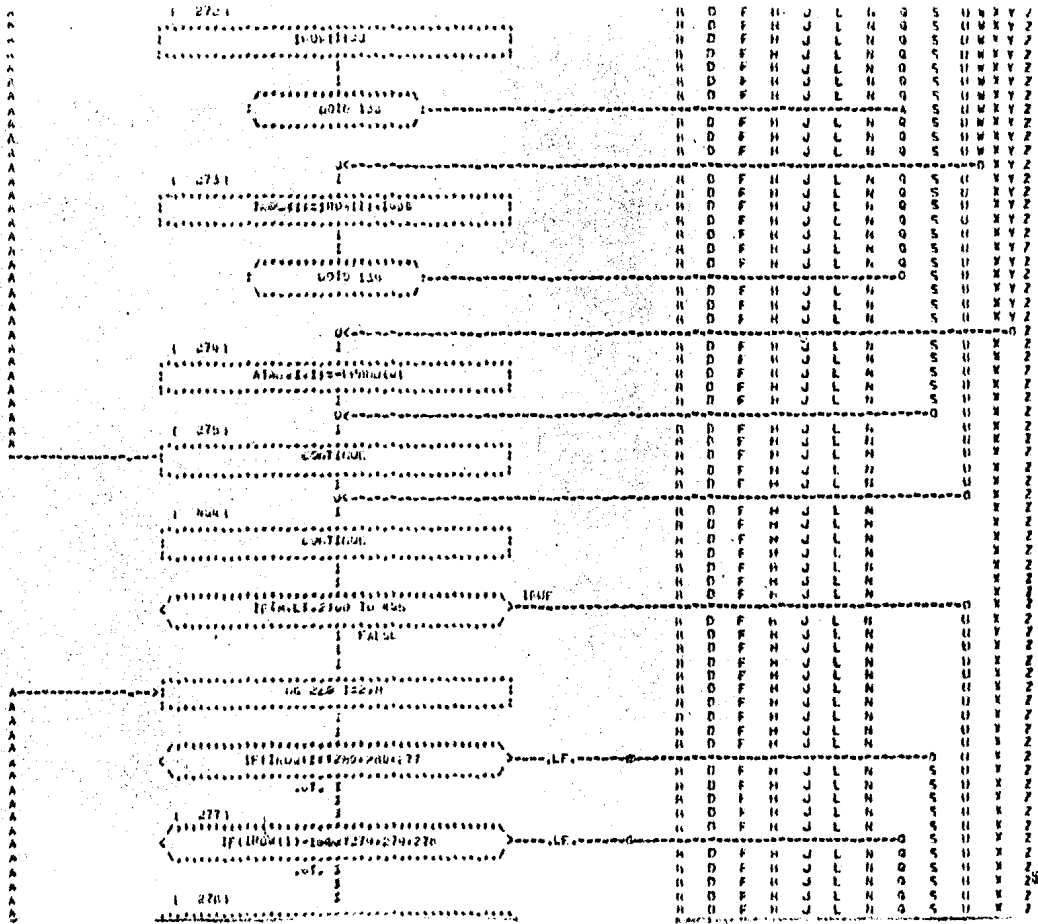






1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100





1
.....
GOTO 400
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7
X 2
Y 7

OC
1
.....
IF (10112111V1)297*297/290
.....
C.L.
1
1
297
1
.....
15VL0C1(1011011)2
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7
X 2
Y 7
X 2
Y 7
X 2
Y 7

.....
GOTO 299
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7

OC
1
.....
15VL0C2(112111V1)201-11/11011)2
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7
X 2
Y 7
X 2
Y 7

1
299
1
.....
IF (151)4-15VL0C13001,301)0.300
.....
C.L.
1
1
300
1
.....
1113000
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7
X 2
Y 7
X 2
Y 7
X 2
Y 7

.....
GOTO 310
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7
X 2
Y 7

OC
1
.....
10115C20
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7
X 2
Y 7
X 2
Y 7

1
3001
1
.....
10 3001 3211
.....

H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

X 2
Y 7
X 2
Y 7
X 2
Y 7

.....
IF (1101 1 1)3002,3001)0.3002
.....
C.L.
1
1

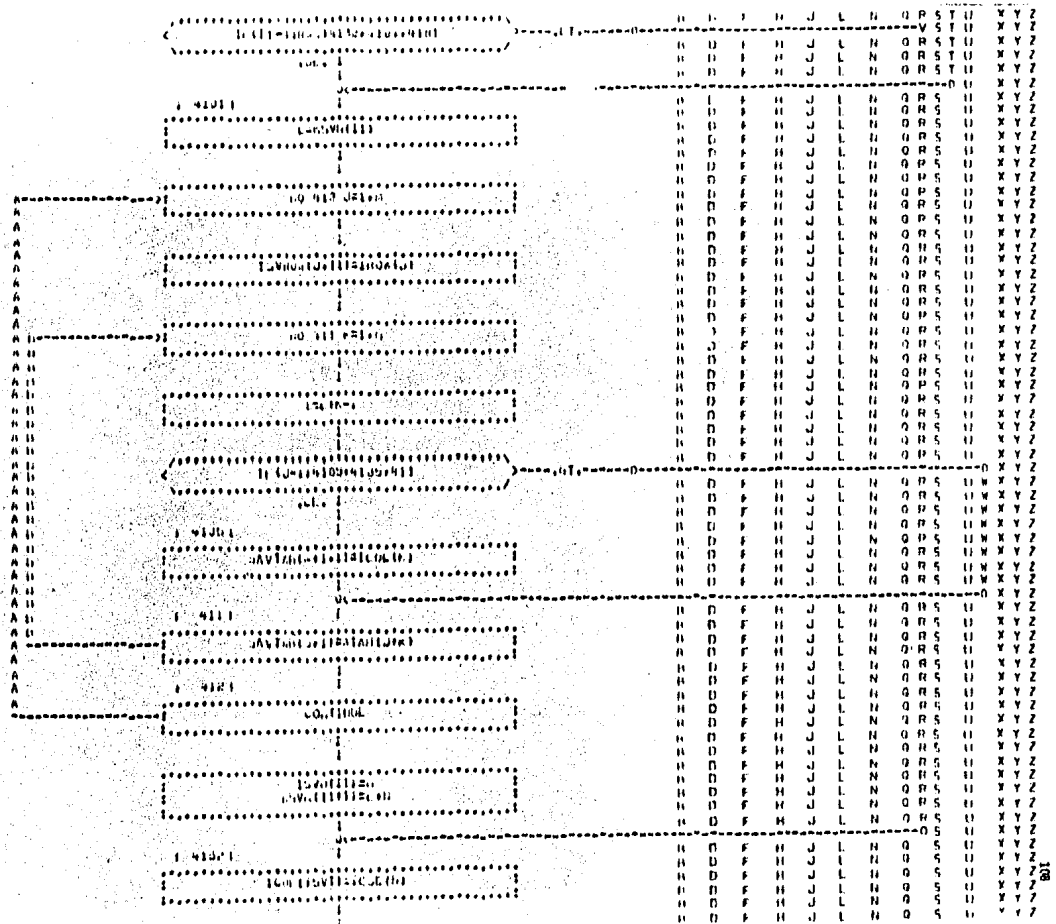
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S
H D F H J L N Q S

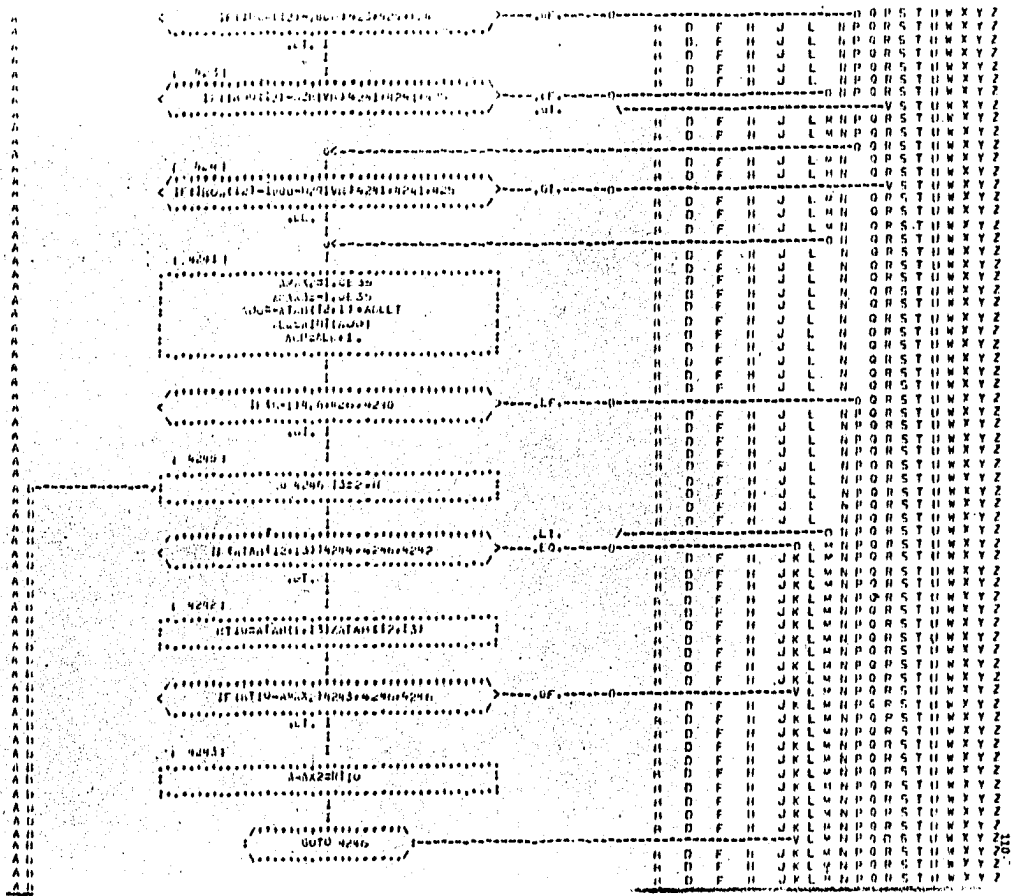
X 2
Y 7
X 2
Y 7

A
A
A
A
A
A
A

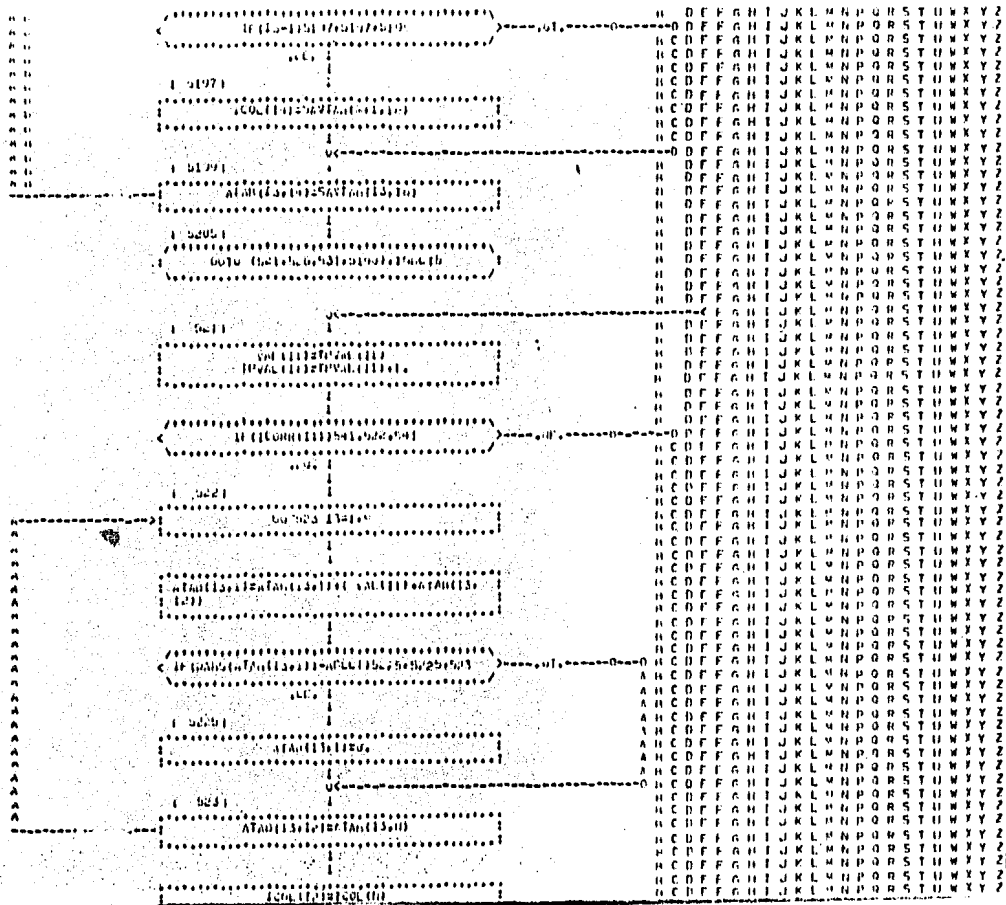
88

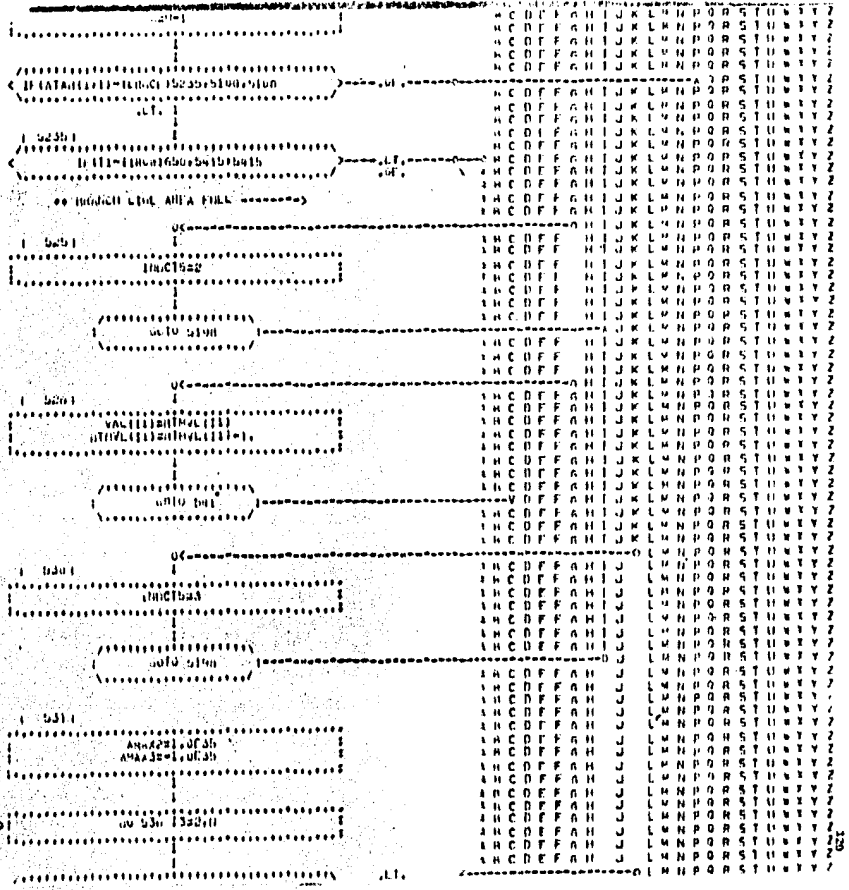
A	3002	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3003, 3004, 3005	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	A D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3003	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3004, 3005, 3006	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3004	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3005, 3006, 3007	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3005	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3006, 3007	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3006	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3007, 3008	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3007	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3008, 3009, 3010	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3008	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3009, 3010, 3011	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3009	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3010, 3011, 3012	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3010	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3011, 3012	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3011	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	IF (COL 4) = 1, GO TO 3012	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	1	1	H D F H J L N O S U X	Z
A	3012	1	H D F H J L N O S U X	Z





A		OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
A	1 4251	1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
A		ANDL(1)=1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
A		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
A	1 4251	OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
A		CONTINUE	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
A		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
	1 4271	OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		CONTINUE	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		AL=5VAL	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		12=10V12	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		VAL(11)=VAL(12)	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=VAL(11)	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
	1 4295	OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=VAL(11)	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		GO TO 432	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
	1 4303	1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=VAL(11)	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		GO TO 432	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
	1 4323	OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=1000	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		VAL(11)=500	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=1000	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		GO TO 4300	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
	1 4291	1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		GO TO 4295	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		OC-----	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		PRINT(11)=1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		GO TO 4295	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z
		1	H D F H J L M N P Q R S T U V W X Y Z





A
A
A

28

.FT.,OIS TPES.MAT.

IN 10-1A 12/12/54-09:07(10)

```

1. DOUBLE PRECISION DARS
2. DOUBLE PRECISION ATAB(29,86), UPRND(87), TPVAL(86), RTMVL(86),
3. TVAL(100), TISAV(29,86), SAVTAB(29,3655), T(86)
4. DOUBLE PRECISION SOLMIN, PCITOL, TLRNCF, YVECT, ATAB11, AMAX,
5. ARTIO, ALFA, ARTIO, ADEL1, ZOPT, ATAB12, X1, AMAX2, AMAX3, ALW,
6. ZSUP, RTI22, DIFF1, DIFF2, DIFF, SVALW, ANDCT4
7. COMMON /R02(28), ITNR0W(28)
8. COMMON /R0L(86), ITBCOL(86), TVAR(86)
9. COMMON /RVR0W(26,85)
10. COMMON /RVRCL(85), ICURK(85), ISVII(85)
11. COMMON /R5VII(86)
12. DIMENSION ITEMPI(30)
13. X1=1.0
14. 10 FORMAT (1H0, (7D10.3))
15. 11 FORMAT (2D10.0)
16. 12 FORMAT (1X, 8D13.7)
17. 13 FORMAT (1H0,24HPRINT CONTROL PARAMETERS )
18. 14 FORMAT (1H0,30HUPPER BOUND ON VARIABLE 1 TO N)
19. 15 FORMAT ( )
20. 16 FORMAT (12,0D10.0)
21. 17 FORMAT ( 1H0,18HMATRIX FORMAT CODE)
22. 18 FORMAT ( 4H0I=,14,0I10)
23. 19 FORMAT(24H0STRUCTURAL VARIABLES: X(1))
24. 20 FORMAT(24H0ROWS A COLUMNS AND NO. OF INTEGER VARIABLES://
25. 114,2H0,.,3,24X,10)
26. 21 FORMAT (30H0CONSTRAINT TYPES IN ROW ORDER)
27. 22 FORMAT (30H0INPUT TABLEAU ECHO CONSTRAINT VALUE LEFT BY ROW)
28. 23 FORMAT (1H0,16D13.5/(1H , 10D13.3))
29. 24 FORMAT (1H0,13HITERATION NO.,16)
30. 25 FORMAT (1H0,8D13.5/(1H, 8D13.5))
31. 26 FORMAT (1H0, 16, 7I13)
32. 27 FORMAT ( 1H,14X,15)
33. 29 FORMAT (13H0TOLERANCE SET AT E15.7,14H AT ITERATION,16)
34. 30 FORMAT (21H PROBLEM NOT FEASIBLE )
35. 33 FORMAT(???, 0HJ. FUNCTION?,12X, *TOLERANCE?,))
36. 35 FORMAT (21H0BJECTIVE FUNCTION=, F30.5,14H AT ITERATION,16)
37. 40 FORMAT (29H0CONTINUOUS SOLUTION COMPLETE )
38. 42 FORMAT (23H0FINAL TABLEAU FOR CONTINUOUS SOLUTION)
39. 45 FORMAT (30H0CONTINUOUS SOLUTION IS INTEGER SOLUTION)
40. 46 FORMAT (1H0,30H0 INTEGER VARIABLES REQUESTED)
41. 50 FORMAT (23H0OPTIMALITY ESTABLISHED)
42. 55 FORMAT (23H0PROBLEM TOO HIGH FOR MACHINE SIZE)
43. 65 FORMAT (20H0END OF PROBLEM, ITERATION NO.,16)
44. 70 FORMAT (26H0BRANCH POINT INCREASED TO ,14)
45. 75 FORMAT (26H0BRANCH POINT DECREASED TO ,14)
46. 78 FORMAT(24H0INITIAL WORKING TABLEAU )
47. NI=5
48. NO=6
49. READ(NI,*)ISIZE,IPRINTS
50. 08 CONTINUE
51. INDC1=1
52. KSVI(1)=1
53. INDC2=1
54. ICNTR=3
55. IOUT1=3
56. IIR0=1000
57. ADEL1=5.0E-7
58. READ(NI,*)IOUT2,IOUT3,IPACK

```

```

59.      WRITE(N0,13)
60.      WRITE(N0,15),IOUT2,IOUT3
61.      READ(N1,*)SOLMIN,PCTTOL
62.      WRITE(N0,33)
63.      WRITE(N0,*)SOLMIN,PCTTOL
64.      READ(N1,*)M,N,NZ,R1VR
65.      WRITE(N0,20)M,N,NZ,R1VR
66.      73 DO 72 I=1,M
1 67.      72 T(I)=0.
68.      NM1=N-1
69.      74 IF (SOLMIN) 766,767,786
70.      736 TLRNCE=SOLMIN
71.      PCTTOL=-1.
72.      GO TO 90
73.      787 ITOL=1
74.      SOLMIN=1E35
75.      IF (PCTTOL) 90,768,90
76.      738 PCTTOL=.1
77.      90 DO 91 I=1,NM1
1 78.      READ(N1,*)UPBND(I)
1 79.      91 CONTINUE
80.      WRITE(N0,14)
81.      WRITE(N0,10) (UPBND(I),I=1,NM1)
82.      IROW(1)=0
83.      READ(N1,*) (IROW(I),I=2,M)
84.      WRITE(N0,21)
85.      WRITE(N0,15) (IROW(I),I=2,M)
86.      WRITE(N0,17)
87.      WRITE(N0,15) IPACK
88.      IF (IPACK) 901,949,901
89.      901 DO 92 I=1,M
1 90.      DO 903 J=1,N
2 91.      903 ATAB(I,J)=0.0
1 92.      DO 908 K=1,M
2 93.      READ(N1,*)ITEMP(K)
2 94.      READ(N1,*)VAL(K)
2 95.      WRITE(N0,*)ITEMP(K),VAL(K),K
2 96.      IF (ITEMP(K).EQ.0) GOTO 906
2 97.      908 CONTINUE
1 98.      906 DO 907 L=1,N
2 99.      IF (ITEMP(L)) 905,92,905
2 100.      905 K=ITEMP(L)
2 101.      909 ATAB(I,K)=VAL(L)
2 102.      907 CONTINUE
1 103.      92 CONTINUE
104.      GO TO 9510
105.      949 DO 952 I=1,M
1 106.      READ(N1,*) (ATAB(I,J),J=1,N)
1 107.      952 CONTINUE
108.      IF (N.LT.2) GO TO 450
109.      9510 WRITE(N0,22)
110.      DO 90 I=1,M
1 111.      WRITE(N0,23) (ATAB(I,J),J=1,N)
1 112.      90 CONTINUE
113.      9520 DO 954 I=2,M
1 114.      IF (IROW(I)) 953,9521,9521
1 115.      9521 DO 9523 J=2,M
2 116.      9523 ATAB(I,J)=-ATAB(I,J)
1 117.      DO 954
1 118.      953 ATAB(I,1)=-ATAB(I,1)

```

```

1      119.    954 CONTINUE
1      120.    450 CONTINUE
1      121.    955 DO 96 I=1,N
1      122.        IF (UPRND(I-1)) 96,96,98
1      123.        96 UPRND(I-1)=1E3
1      124.        96 CONTINUE
1      125.    901 YVECT=UPRND(1)+1.
1      126.        IF (I>ZR1VR.LT.2) GO TO 322
1      127.        DO 902 I=2,ZR1VR
1      128.    902 YVECT=YVECT*(UPRND(I)+1.)
1      129.    322 CONTINUE
1      130.    905 DO 99 I=1,N
1      131.        99 IVAR(I)=0
1      132.        IF (M.LT.2) GO TO 451
1      133.        DO 102 I=2,M
1      134.        IF (IROW(I)) 100,102,100
1      135.    100 IROW(I)=1-I
1      136.    102 CONTINUE
1      137.    451 CONTINUE
1      138.        ATAB(1)=ATAB(1,1)
1      139.        ICOL(1)=0
1      140.        DO 103 J=2,N
1      141.        IF (ATAB(1,J)) 1022,1025,1025
1      142.    1022 DO 1023 I=1,M
2      143.        ATAB(I,1)=ATAB(I,1)+ATAB(I,J)*UPRND(J-1)
2      144.    1023 ATAB(1,J)=-ATAB(1,J)
1      145.        ICOL(J)=1000+J-1
1      146.        GO TO 103
1      147.    1025 ICOL(J)=J-1
1      148.    103 CONTINUE
1      149.        IF (IOUT2) 104,254,104
1      150.    104 ..RITE (NO,78)
1      151.        ..RITE (NO,26) (ICOL(J),J=1,N)
1      152.        DO 110 I=1,M
1      153.        ..RITE (NO,25) (ATAB(I,J),J=1,N)
1      154.    110 ..RITE (NO,27) IROW(I)
1      155.        GO TO 254
1      156.    112 AMAX=0.0
1      157.        IF (M.LT.2) GO TO 452
1      158.        DO 120 I=2,M
1      159.        IF (ATAB(I,1)) 120,120,115
1      160.    115 IF (ATAB(I,1)-AMAX) 120,120,117
1      161.    117 AMAX=ATAB(I,1)
1      162.        IPVR=I
1      163.    120 CONTINUE
1      164.    452 CONTINUE
1      165.        IF (AMAX) 205,205,130
1      166.    130 AMAX=-1E35
1      167.        IF (N-2) 143,132,132
1      168.    132 IPVC=0
1      169.        DO 140 J=2,N
1      170.        IF (ATAB(IPVR,J)) 133,140,140
1      171.    133 RTIO=ATAB(1,J)/ATAB(IPVR,J)
1      172.        IF (RTIO-AMAX) 140,137,135
1      173.    135 AMAX=RTIO
1      174.    136 IPVC=J
1      175.        GO TO 140
1      176.    137 IF (ATAB(IPVR,J)-ATAB(IPVR,IPVC)) 136,140,140
1      177.    140 CONTINUE
1      178.        IF (IPVC) 150,143,150

```



```

179.      243 GO TO (145,435,542,610,665), INDCR
180.      145 WRITE(10,30)
181.      30 TO 1001
182.      150 ALFA=ATAB(IPVR,IPVC)
183.      DO 180 J=1,N
1 184.      IF(ATAB(IPVR,J))152,180,152
1 185.      152 IF(J=IPVC)153,180,153
1 186.      153 ARTIO=ATAB(IPVR,J)/ALFA
1 187.      DO 175 I=1,M
2 188.      IF(ATAB(I,IPVC))157,175,157
2 189.      157 IF(I=IPVR)160,175,160
2 190.      160 ATAB(I,J)=ATAB(I,J)-ARTIO*ATAB(I,IPVC)
2 191.      IF(DABS(ATAB(I,J))-ADELT)165,165,175
2 192.      165 ATAB(I,J)=0.0
2 193.      175 CONTINUE
1 194.      180 CONTINUE
1 195.      DO 190 J=1,N
1 196.      190 ATAB(IPVR,J)=ATAB(IPVR,J)/ALFA
197.      ISV=ICOL(IPVR)
198.      IROW(IPVR)=ICOL(IPVC)
199.      IF(ISV)197,195,197
1 200.      195 DO 196 I=1,M
1 201.      196 ATAB(I,IPVC)=ATAB(I,I)
202.      ICOL(IPVC)=ICOL(M)
203.      ME=-1
204.      GOTO 200
1 205.      197 DO 198 I=1,M
1 206.      198 ATAB(I,IPVC)=-ATAB(I,IPVC)/ALFA
207.      ICOL(IPVC)=ISV
208.      ATAB(IPVR,IPVC)=1./ALFA
209.      ICHTR=ICHTP+1
210.      IF(IROW(IPVC)+1000)210,205,210
1 211.      205 DO 207 M=1,N
1 212.      207 ATAB(IPVR,J)=ATAB(M,J)
213.      IROW(IPVR)=IROW(M)
214.      ME=M-1
215.      210 IF(IOUT)240,2505,240
216.      240 WRITE(10,24) ICHTR
217.      WRITE(10,26) (ICOL(J),J=1,N)
218.      DO 250 K=1,M
1 219.      WRITE(10,25) (ATAB(K,L),L=1,N)
1 220.      WRITE(10,27) IROW(K)
221.      2505 GO TO(254,251,252,253,2535), INDCR
222.      251 IF(ATAB(1,1)-TLR/CF)254,435,435
223.      252 IF(ATAB(1,1)-TLR/CF)254,542,542
224.      253 IF(ATAB(1,1)-TLR/CF)254,610,610
225.      2535 IF(ATAB(1,1)-TLR/CF)254,665,665
226.      254 IF(D.LT.2)GOTO 453
227.      DO 260 K=2,M
1 228.      IF(IROW(K))260,255,260
1 229.      255 IF(ATAB(K,1))256,260,260
1 230.      256 DO 258 L=1,N
2 231.      258 ATAB(K,L)=-ATAB(K,L)
1 232.      260 CONTINUE
233.      453 CONTINUE
234.      GOTO 112
235.      265 CONTINUE
236.      IF(D.LT.2) GOTO 454
237.      DO 275 I=2,M
1 238.      IF(IROW(I))275,275,266

```

```

1      239.      266 J=IROW(I)
1      240.      IF(J=1000)218,260,267
1      241.      267 J=J-1000
1      242.      268 IF(UPBND(J)+ATAB(I,1))269,275,275
1      243.      269 IF(ADDEL+UPBND(J)+ATAB(I,1))270,274,274
1      244.      270 ATAB(I,1)=-ATAB(I,1)-UPBND(J)
1      245.      DO 271 K=2,N
2      246.      271 ATAB(I,K)=-ATAB(I,K)
1      247.      IPVH=I
1      248.      IF(J=IROW(I))272,273,272
1      249.      272 IROW(I)=J
1      250.      GOTO 130
1      251.      273 IROW(I)=IROW(I)+1000
1      252.      GOTO 130
1      253.      274 ATAB(I,1)=-UPBND(J)
1      254.      275 CONTINUE
1      255.      454 CONTINUE
1      256.      IF(N.LT.2160 TO 455
1      257.      DO 280 I=2,N
1      258.      IF(IROW(I))286,280,277
1      259.      277 IF(IROW(I)-1000)274,279,278
1      260.      278 J=IROW(I)-1000
1      261.      T(J)=UPBND(J)+ATAB(I,1)
1      262.      GOTO 280
1      263.      279 J=IROW(I)
1      264.      T(J)=-ATAB(I,1)
1      265.      CONTINUE
1      266.      455 CONTINUE
1      267.      DO 285 I=2,N
1      268.      IF(ICOL(I))285,285,282
1      269.      282 IF(ICOL(I)-1000)284,284,283
1      270.      283 J=ICOL(I)-1000
1      271.      T(J)=UPBND(J)
1      272.      GOTO 285
1      273.      284 J=ICOL(I)
1      274.      T(J)=0.
1      275.      285 CONTINUE
1      276.      GOTO (280,437,540,615,670),INDCTR
1      277.      286 WRITE(N0,40)
1      278.      IF(IOUT3)287,291,287
1      279.      287 WRITE(N0,42)
1      280.      WRITE(N0,26)(ICOL(J),J=1,N)
1      281.      288 DO 290 I=1,N
1      282.      WRITE(N0,25)(ATAB(I,J),J=1,N)
1      283.      290 WRITE(N0,27)IROW(I)
1      284.      291 ZOPT=ZABS(ATAB(I,1))
1      285.      WRITE(N0,35)ZOPT,ICNTR
1      286.      WRITE(N0,19)
1      287.      WRITE(N0,18)(I,I=1,NM1)
1      288.      WRITE(N0,10)(T(I),I=1,NM1)
1      289.      ATAB12=ATAB(I,1)
1      290.      ATAB11=ZABS(ATAB11-ATAB(I,1))
1      291.      IF(PCTTOL)294,295,292
1      292.      TLRNCE=PCTTOL*ATAB11+ATAB12
1      293.      GOTO 294
1      294.      293 TLRNCE=1E35
1      295.      294 CONTINUE
1      296.      IF(N.LT.2160 TO 456
1      297.      DO 310 I=2,N
1      298.      301 IF(IROW(I))310,310,302

```

```

1 299. 302 IF (IROW(I)-1000)303,303,304
1 300. 303 IF (IROW(I)-N2R1VR)305,305,310
1 301. 304 IF (IROW(I)-1000-N2R1VR)305,305,310
1 302. 305 AJDZ=AJZ(I,J)
1 303. AJDZ=AJZ(I,J)
1 304. AJDZ=EX1
1 305. IF (AJDZ1-AJ01,AJ03-AJ02)310,310,300
1 306. 306 IF (1.0-AJ00(-AJ01,AJ03-AJ02)310,310,295
1 307. 310 CONTINUE
1 308. 306 CONTINUE
309. IF (N2R1VR)307,300,307
310. 307 WRITE(I,0)5)
311. GOTO 999
312. 308 WRITE(I,0)6)
313. GOTO 999
314. 295 IF (N-N2R1VR)297,297,295
315. 297 ISVLOC=(N*(N+1))/2
316. GOTO 299
317. 298 ISVLOC=(N2R1VR*(2*N-(N2R1VR+1))/?
318. 299 IF (ISVIF-ISVLOC)3001,3001,300
319. 300 IROW=0
320. GOTO 314
321. 3001 N0R0SC=0
322. DO 3006, J=2,N
323. IF (ICOL(J))3006,3006,3002
1 324. 3002 IF (ICOL(J)-1000)3003,3004,3004
1 325. 3003 IF (ICOL(J)-N2R1VR)3005,3005,3006
1 326. 3004 IF (ICOL(J)-1000-N2R1VR)3005,3005,3006
1 327. 3005 N0R0SC=N0R0SC+1
1 328. 3006 CONTINUE
329. IF (N-N2R1VR)3007,3007,3008
330. 3007 ISVLOC=+(N-N0R0SC)*(N-N0R0SC+1)/2
331. GOTO 3004
332. 3008 ISVLOC=+(N2R1VR-N0R0SC)*(N-N0R0SC+N-N2R1VR+1)/2
333. 3009 IF (ISVIF-ISVLOC)3010,3010,315
334. 3010 WRITE(I,0)5)
335. GOTO 999
336. 315 CONTINUE
337. 400 I1=1
338. 402 AMAX=-.1
339. RSVN(I1+1)=RSVN(I1)
340. DO 4005, I=2,N
1 341. IF (ICOL(I))4005,4005,405
1 342. 405 IF (ICOL(I)-1000)406,407,407
1 343. 406 IF (ICOL(I)-N2R1VR)408,408,4085
1 344. 407 IF (ICOL(I)-1000-N2R1VR)408,408,4085
1 345. 408 IF (AMAX-IAR(1,I))4082,4085,4085
1 346. 4082 ISV1=I
1 347. AMAX=IAR(1,I)
1 348. 4005 CONTINUE
349. IF (AMAX+X1)4037,420,4087
350. 4037 IVAR(I1)=ICL(ISV1)
351. N1AVL(I1)=-1
352. ISVACL(I1)=ISV1
353. LCON(I1)=0
354. LACT(I1)=0.0
355. IF (IAR(1,I1)+IAR(1,ISV1)-TLRNCF)410,409,409
356. 409 IPRAL(I1)=1000.
357. IF (I1-1)4101,4101,4095
358. 4095 ISVN(I1)=0

```

```

359.      GOTO 4134
360.      410 TYPAL(I)=1.
361.      IF(I1-1)4100,4101,4130
362.      4100 IF(I1-I1ROW)4132,4101,4101
363.      4101 C=KBY(I1)
364.      DO 412 J=1,M
1 365.      ISVRO(J,I1)=IROW(J)
1 366.      DO 411 K=1,N
2 367.      L=L+K-1
2 368.      IF(J-1)4105,4105,411
2 369.      4105 SAVTAB(K+1,I)=ICOL(K)
2 370.      411 SAVTAB(J,I)=A)AB(J,K)
1 371.      412 CONTINUE
372.      ISV(I1)=0
373.      KSA(I1+1)=L+0
374.      4132 ICOL(IGVI)=ICOL(N)
375.      GO 4135 C=1,M
1 376.      4135 ATAB(J,ISV1)=ATAB(J,N)
377.      N=N-1
378.      GOTO 5000
379.      420 CONTINUE
380.      IF(I1-1)4204,600,4205
381.      4204 I1ROW=I1
382.      4205 I1OCT7=1
383.      421 AMAX=-A1
384.      IF(N*LT.<=)GOTO457
1 385.      DO 425 I2=2,M
1 386.      422 IF(IROW(I2))425,425,422
1 387.      423 IF(IROW(I2)-1000)423,424,424
1 388.      424 IF(IROW(I2)-(I2N1VR))4241,4241,425
1 389.      424 IF(IROW(I2)-1000-N1VR)4241,4241,425
1 390.      4241 AMAX2=1.0E35
1 391.      AMAX3=-1.0E35
1 392.      A00=-ATAB(I2,1)+ADFLT
1 393.      AL=AINIT(A00)
1 394.      AUP=AL+1.
1 395.      IF(N-1)420,420,4240
1 396.      4240 DO 4240 I3=2,N
2 397.      IF(ATAB(I2,I3))4244,4246,4242
2 398.      4242 RTIO=A)AB(1,I3)/ATAB(I2,I3)
2 399.      IF(RTIO-AMAX2)4243,4246,4246
2 400.      4243 AMAX2=RTIO
2 401.      GOTO 4240
2 402.      4244 RTIO2=ATRO(1,I3)/ATAB(I2,I3)
2 403.      IF(RTIO2-AMAX3)4246,4246,4245
2 404.      4245 AMAX2=RTIO2
2 405.      4246 CONTINUE
1 406.      4247 IF(AMAX2<=E34)4248,429,429
1 407.      4248 DIFF1=OABS(AMAX2*(ATAB(I2,1)+AL))
1 408.      DIFF2=OABS(AMAX3*(ATAB(I2,1)+AUP))
1 409.      DIFF=OABS(DIFF1-0)DIFF2)
1 410.      IF(DIFF-AMAX)425,425,4249
1 411.      4249 AMAX=DIFF
1 412.      SVL2=AL
1 413.      ISV12=I2
1 414.      IF(DIFF1-0)DIFF2)4251,4251,4252
1 415.      4251 ANOCT4=0.
1 416.      GOTO 425
1 417.      4252 ANOCT4=1.
1 418.      425 CONTINUE

```

```

419.      437 CONTINUE
420.      ALW=SVVAL
421.      IZ=ISVIZ
422.      VAL(11)=ALW+ANUCT4
423.      nTVAL(11)=VAL(11)-1.
424.      4255 TPVAL(11)=VAL(11)+1.
425.      GOTO 432
426.      426 IF (DABS(ATAB(12,1) +ALW)-ADELT)427,427,5100
427.      427 nTVAL(11)=-1.
428.      TPVAL(11)=1000.
429.      VAL(11)=ALW
430.      IVAR(11)=IROW(12)
431.      IROW(12)=0
432.      GOTO 5050
433.      429 nTVAL(11)=-1.
434.      IF (DABS(ATAB(12,1)+ALW)-ADELT)4295,4295,4296
435.      4295 ANUCT4=0.
436.      VAL(11)=ALW+ANUCT4
437.      GOTO 4255
438.      4296 TPVAL(11)=ALW+2.
439.      ANUCT4=1.
440.      GOTO 431
441.      430 TPVAL(11)=1000.
442.      nTVAL(11)=ALW-1.
443.      ANUCT4=0.
444.      431 VAL(11)=ALW+ANUCT4
445.      432 JSV=Z.
446.      LK5=Z(11)
447.      438 DO 439 I3=1,M
448.      ISVROW(I3,11)=IROW(I3)
449.      DO 439 I4=1,N
450.      IZ=IZ+I4-1
451.      IF (IZ=1+4385+4335+439
452.      4385 SAVTAB(I4+1,I3)=ICOL(I4)
453.      439 SAVTAB(I3,I3)=ATAB(I3,I4)
454.      ISV(I1)=I
455.      ASV(I1+1)=L+I
456.      ATAB(12,1)=ATAB(12,1)+VAL(11)
457.      ISVCL(11)=IZ
458.      IVAR(11)=IROW(12)
459.      ICORR(11)=1
460.      IROW(12)=0
461.      IF (DABS(ATAB(12,1)-ADELT)433,433,434
462.      ATAB(12,1)=0.0
463.      434 ANUCT4=2
464.      IF (IOUT1)240,254,240
465.      435 IF (ANUCT4)4355,4352,4355
466.      4352 nTVAL(11)=-1.
467.      GOTO 5120
468.      4355 TPVAL(11)=1000.
469.      GOTO 5120
470.      437 GOTO 5050
471.      5000 IF (I1=,7*(IVR)5050,550,550
472.      I1=I1+1
473.      IF (IOUT1)5051,402,5051
474.      5051 WRITE(60,70)I1
475.      GOTO 402
476.      5100 I1=I1-1
477.      IF (IOUT1)5110,5115,5110
478.      5110 WRITE(60,75)I1

```

```

479. 5115 IF(I1)905,905,5120
480. 5120 IF(1VAR(I1)-1000)5151,5151,5152
481. 5151 N=1VAR(I1)
482.      GOTO 5153
483. 5152 N=1VAR(I1)-1000
484. 5153 I2=1SVARCL(I1)
485. 5155 IF(BTMVL(I1))516,517,517
486.      516 IF(TPVAL(I1)-UPB.C(K))518,518,5100
487.      517 IF(TPVAL(I1)-UPB.C(K))530,530,525
488.      518 INDUCT5=1
489. 5181 IF(ICORR(I1))5190,5102,5198
490. 5182 IF(I1-I1ROW)5183,5193,5198
491. 5183 INDUCTA=1
492.      IF(I1-1)5185,5190,5185
493. 5185 INDUCT5=4
494.      ISV11=1-1
495.      I1=1
496.      GOTO 5190
497. 5190 DO 5194 I3=1,ISV11
498.      I4=1SVARCL(I3)
499.      ICOL(I4)=ICOL(I1)
500.      DO 5193 J=1,M
501.      IF(VAL(I3)-1.)5193,5191,5192
502. 5191 ATAB(J,I4)=ATAB(J,I1)+ATAB(J,I4)
503.      GOTO 5190
504. 5192 ATAB(J,I4)=ATAB(J,I1)+VAL(I3)*ATAB(J,I4)
505. 5196 INDUCTA=2
506. 5193 ATAB(J,I4)=ATAB(J,I1)
507.      N=N-1
508. 5194 CONTINUE
509. 5195 I1=ISV11+1
510.      INDUCT5=1
511.      GO TO 521
512. 5198 N=ISV11(I1)
513.      L=KSV11(I1)
514.      DO 5194 I3=1,N
515.      IROW(I3)=IS/ROW(I3,I1)
516.      DO 5194 I4=1,N
517.      IF(I3-1)5197,5197,5199
518. 5197 ICOL(I4)=SAVTAB(I3,I6)
519. 5199 ATAB(I3,I4)=SAVTAB(I3,I6)
520. 5205 GOTO (521,526,531,5190),INDUCT5
521.      VAL(I1)=TPVAL(I1)
522.      TPVAL(I1)=TPVAL(I1)+1.
523.      IF(ICORR(I1))541,522,541
524.      DO 523 I3=1,N
525.      ATAB(I3,I1)=ATAB(I3,I1)+( VAL(I1)*ATAB(I3,I2)
526.      IF(DIRG(ATAB(I3,I1))-ADELT)5225,5225,523
527. 5225 ATAB(I3,I1)=.
528. 523 ATAB(I3,I2)=ATAB(I3,I1)
529.      ICOL(I2)=ICOL(I1)
530.      N=N-1
531.      IF(ATAB(I1,I1)-TLR.CC)5235,5100,5100
532. 5235 IF(I1-I1ROW)550,5415,5415
533.      525 INDUCT5=2
534.      GOTO 5190
535. 526 VAL(I1)=BTMVL(I1)
536.      BTMVL(I1)=BTMVL(I1)-1.
537.      GOTO 541
538. 530 INDUCT5=3

```

```

530.      GOTO 5190
531.      AMAX2=1.0E35
532.      AMAX3=-1.0E35
533.      DO 536 I=2,N
534.      IF(ATAB(I,13))534,536,532
535.      RT10=ATAB(1,13)/ATAB(I,13)
536.      IF(RT10-AMAX2)533,536,530
537.      AMAX2=RT10
538.      GOTO 536
539.      RT10=ATAB(1,13)/ATAB(I,13)
540.      IF(RT10-AMAX3)536,536,535
541.      AMAX3=RT10
542.      CONTINUE
543.      IF(AMAX2-1.735)538,537,537
544.      RTMVL(I)=-1.
545.      GOTO 521
546.      IF(AMAX3+1.735)539,539,540
547.      TPVAL(I)=1000.
548.      GOTO 526
549.      DIFF1=DABS(AMAX2*(ATAB(I,1)+RTMVL(I)))
550.      DIFF2=DABS(AMAX3*(ATAB(I,1)+TPVAL(I)))
551.      IF(DIFF1-DIFF2)520,526,521
552.      ATAB(I,1)=ATAB(I,1)+VAL(I)
553.      INO(I)=0
554.      IF(DABS(ATAB(I,1))-ACELT)5412,5412,5415
555.      ATAB(I,1)=0.
556.      INDUCTR=3
557.      IF(100T1)240,2505,240
558.      GOTO (544,547,543),INDCT5
559.      IF(TPVAL(I))-VAL(I)-1.545,544,545
560.      TPVAL(I)=1000.
561.      GOTO 5120
562.      IF(VAL(I)-RTMVL(I)-1.546,547,546
563.      CONTINUE
564.      RTMVL(I)=-1.
565.      GOTO 5120
566.      GOTO 5000
567.      ILMSCCE=ATAB(1,1)
568.      SOLN=1.
569.      IF(100T3)552,553,552
570.      ZOPT=0.00*(ATAB(1,1))
571.      RTIC(1,0)ZOPT,ICNTR
572.      DO 500 I=1,NRIVK
573.      IF(IVAR(I))554,503,554
574.      IF(IVAR(I)-1000)554,555,557
575.      J=IVAR(I)
576.      T(J)=VAL(I)
577.      GOTO 500
578.      J=IVAR(I)-1000
579.      T(J)=ROUND(J)-VAL(I)
580.      CONTINUE
581.      WRITE(LN,19)
582.      WRITE(LN,18)(I,I=1,NM1)
583.      WRITE(LN,10)(I,I=1,NM1)
584.      GOTO 5115
585.      GOTO (505,4205),INDCT7
586.      INDUCTR=4
587.      IF(100T1)240,254,240
588.      GOTO 5100
589.      INDUCTR=5

```

```

599.      GOTO 402
600.      DO 605 I=1,M
1 601.      ITROW(I)=ITRO(I)
1 602.      DO 605 J=1,N
2 603.      605 THSAV(I,J)=ATAB(I,J)
604.      DO 606 K=1,N
1 605.      606 ITCOL(J)=ICOL(J)
606.      606 SVR=0
607.      INDIR=5
608.      IF (IOUT) 240,254,240
609.      605 GOTO (544,5126),INDIR
610.      670 N=6544
611.      DO 675 I=1,M
1 612.      IRON(I)=ITRO(I)
1 613.      DO 675 J=1,N
2 614.      675 ATAB(I,J)=THSAV(I,J)
615.      DO 680 K=1,N
1 616.      680 ICOL(J)=ITCOL(J)
617.      GOTO 5000
618.      995 IF (ITOL) 996,997,996
619.      996 IF (SOLATE)=-1,L35) 997,997,997
620.      997 ITOL=ITOL+1
621.      FLRICE=FLOAT(ITOL)*PCTTOL*ATAR1+ATAR2
622.      N=ISVH(I)
623.      DO 9972 I=1,M
1 624.      IRON(I)=ISVRO(I,I)
1 625.      DO 9972 J=1,N
2 626.      9972 ATAB(I,J)=SAVTAB(I,J)
627.      DO 9973 K=1,N
1 628.      9973 ICOL(K)=SAVTAB(K+1,K)
629.      GOTO 400
630.      998 CONTINUE
631.      9976 WRITE(N0,50)
632.      1001 WRITE(N0,65)ICNTR
633.      999 (NRUN,SENRUN,5-1
634.      IF (NRUN) 68,1000,68
635.      1000 CALL EXIT
636.      END

```

END FTU 2998 IBM 225045 DR. 3135 COM-011

1	1220000000000000000000	1
2	1220000000000000000000	2
3	1220000000000000000000	3
4	1220000000000000000000	4
5	1220000000000000000000	5
6	1220000000000000000000	6
7	1220000000000000000000	7
8	1220000000000000000000	8
9	1220000000000000000000	9
10	1220000000000000000000	10
11	1220000000000000000000	11
12	1220000000000000000000	12
13	1220000000000000000000	13
14	1220000000000000000000	14
15	1220000000000000000000	15
16	1220000000000000000000	16
17	1220000000000000000000	17
18	1220000000000000000000	18
19	1220000000000000000000	19
20	1220000000000000000000	20
21	1220000000000000000000	21
22	1220000000000000000000	22
23	1220000000000000000000	23
24	1220000000000000000000	24
25	1220000000000000000000	25
26	1220000000000000000000	26
27	1220000000000000000000	27
28	1220000000000000000000	28
29	1220000000000000000000	29
30	1220000000000000000000	30
31	1220000000000000000000	31
32	1220000000000000000000	32
33	1220000000000000000000	33
34	1220000000000000000000	34
35	1220000000000000000000	35
36	1220000000000000000000	36
37	1220000000000000000000	37
38	1220000000000000000000	38
39	1220000000000000000000	39
40	1220000000000000000000	40
41	1220000000000000000000	41
42	1220000000000000000000	42
43	1220000000000000000000	43
44	1220000000000000000000	44
45	1220000000000000000000	45
46	1220000000000000000000	46
47	1220000000000000000000	47
48	1220000000000000000000	48
49	1220000000000000000000	49
50	1220000000000000000000	50
51	1220000000000000000000	51
52	1220000000000000000000	52
53	1220000000000000000000	53
54	1220000000000000000000	54
55	1220000000000000000000	55
56	1220000000000000000000	56
57	1220000000000000000000	57
58	1220000000000000000000	58
59	1220000000000000000000	59
60	1220000000000000000000	60
61	1220000000000000000000	61
62	1220000000000000000000	62
63	1220000000000000000000	63
64	1220000000000000000000	64
65	1220000000000000000000	65
66	1220000000000000000000	66
67	1220000000000000000000	67
68	1220000000000000000000	68
69	1220000000000000000000	69
70	1220000000000000000000	70
71	1220000000000000000000	71
72	1220000000000000000000	72
73	1220000000000000000000	73
74	1220000000000000000000	74
75	1220000000000000000000	75
76	1220000000000000000000	76
77	1220000000000000000000	77
78	1220000000000000000000	78
79	1220000000000000000000	79
80	1220000000000000000000	80
81	1220000000000000000000	81
82	1220000000000000000000	82
83	1220000000000000000000	83
84	1220000000000000000000	84
85	1220000000000000000000	85
86	1220000000000000000000	86
87	1220000000000000000000	87
88	1220000000000000000000	88
89	1220000000000000000000	89
90	1220000000000000000000	90

TABLE 1. Summary of the model results for the 1997-2000 period.

Year	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	
...

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

CONTINUOUS RECORDS OF THE DEPARTMENT OF THE ARMY

RECORDS OF THE DEPARTMENT OF THE ARMY

RECORDS OF THE DEPARTMENT OF THE ARMY

100-1	2	3	4	5	6	7
100-8	9	10	11	12	13	14
100-15	16	17	18	19	20	21
100-22	23	24	25	26	27	28
100-29	30	31	32	33	34	35
100-36	37	38	39	40	41	42
100-43	44	45	46	47	48	49
100-50	51	52	53	54	55	56

121	57	56	60	60	61	62	63
121	64	64	66	67	68	69	70
121	71	72	73	74	76	76	77
121	78	78	81	81	82	83	86

121	81						
7500000	000	2700000	1300000	1000	2700000	000	
2000000	000	1100000	000	2700000	5000000	000	
000	000	000	000	000	9000000	000	
000	000	000	000	000	000	000	
1200000	000	0000000	1000000	000	2700000	000	
000	000	000	000	000	000	7000000	
000	000	000	000	000	000	000	
000	000	000	000	000	000	000	
000	000	000	000	000	000	000	
000	000	000	000	000	000	000	
000	000	000	000	000	1200000	000	
000	000	000	000	000	1200000	0000000	

00000000, 0000000, 1000000, 0000000

00000000000000000000

100 of products, 100000000, 100
 00000000000000000000

VIII. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos con el Programa de Cómputo, se concluye que:

1. De las 85 alternativas disponibles al menor costo, Únicamente deberán utilizarse aquéllas que se encuentren contempladas en la función objetivo.
2. Los volúmenes óptimos que deberán ser enviados son:

VOLUMEN	ORIGEN	DESTINO
7 300 tons. de	Barita de Sonora a	Dos Bocas
2 700 tons. de	Barita de Sonora a	Comalcalco
7 300 tons. de	Minerales de Colima a	Dos Bocas
2 700 tons. de	Minerales de Colima a	Comalcalco
500 tons. de	La Mascota a	Comalcalco
1 300 tons. de	Barita de Apatzingán a	Dos Bocas
2 700 tons. de	Barita de Apatzingán a	Comalcalco
500 tons. de	Moliendas Industriales a	Nanchital
4 000 tons. de	Negociación Minera Eulalio Gutiérrez a	El Bayo
5 310 tons. de	Minerales y Arcillas a	Nanchital
1 590 tons. de	Minerales y Arcillas a	Dos Bocas
750 tons. de	Minerales y Arcillas a	Ebano
750 tons. de	Minerales y Arcillas a	Cerro Azul
788 tons. de	Baramin Monterrey a	Nanchital
212 tons. de	Baramin Monterrey a	El Bayo
4 000 tons. de	Baramin Linares a	Nanchital
1 400 tons. de	Bentonita de México a	El Bayo
1 200 tons. de	Compañía Minera Guadalupe a	El Bayo
1 200 tons. de	Barita de Apatzingán (Puebla) a	Poza Rica
4 800 tons. de		Reforma
200 tons. de		Comalcalco

3. El resto de las alternativas, no incluidas en la función objetivo, no deberán utilizarse en la Transportación de Barita.
4. El costo total de transportación será igual al valor de la función objetivo, en este caso \$ 443,884,165.26 pesos (cuatrocientos cuarenta y tres millones de pesos); y es la suma de los productos obtenidos al multiplicar, el volumen enviado de un origen a su correspondiente destino, por el costo unitario de transportación del mineral a través de esa ruta.

En este caso, el valor de la función objetivo será:

F. Objetivo = Costo Total de Transportación.

F. Objetivo = (7300) 12179.47 + (2700) 12743.93 + (7300) 9776.97
 + (2700) 10341.43 + (500) 7438.90 + (1300) 11070.77 + (2700) 11635.23
 + (500) 7335.67 + (4000) 8675.29 + (5310) 6744.16 + (1590) 11395.12
 + (750) 4341.80 + (750) 4802.12 + (788) 6744.16 + (212) 8158.31
 + (4000) 7188.18 + (1400) 7714.29 + (1200) 7714.29 + (1200) 1854.22
 + (4800) 2878.30 + (200) 3396.62

F. Objetivo = 443,869,783.2

'La diferencia entre el valor anterior de la función objetivo y el valor proporcionado por el programa radica en que los volúmenes óptimos que deberán ser enviados a los diferentes destinos están expresados exponencialmente con únicamente 3 cifras significativas, lo cual impide conocer el valor preciso de la cuarta cifra para los volúmenes mayores a 1 000 tons.

De cualquier manera la diferencia entre un valor y otro es del .00324%, por consiguiente, el valor proporcionado por el programa se acepta como correcto.

El costo total de transportación obtenido representa el 71.5% del costo total mensual estimado, el cual es de \$ 620.000,000.00 pesos/mensuales.

...

Por lo tanto, el ahorro total aproximado que tendría Petróleos Mexicanos sería de \$ 2,113,390,018.00 pesos anuales.

5. Cualquier cambio en las producciones o demandas existentes en el sistema originará un cambio en el valor de la función objetivo, así como en las variables - - (combinaciones origen - destino) que aparecen en la solución.

B I B L I O G R A F I A

- "Operations Research
Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman.
Holden - Day, Inc.
- "Toma de Decisiones por Medio de Investigación de - -
Operaciones".
Robert J. Thierauf, Richard A. Grosse.
Ed. Limusa.
- "Operations Research, an Introduction"
Hamdy A Taha
Collier Macmillan International Editions.
- "Norma de Calidad para Barita IMP-DPF-1/32"
Proyecto D-1201
Subdirección de Tecnología de Explotación
Instituto Mexicano del Petróleo.

A P E N D I C E No. 1

NORMA PARA BARITA EMPLEADA EN FLUIDOS DE
PERFORACION.

GENERALIDADES Y DEFINICIONES.

Generalidades.

La Barita, objeto de esta Norma, se utiliza principalmente en la elaboración de fluidos de perforación para pozos petroleros.

Alcance.

Esta norma es aplicable al producto aquí citado.

Definición.

La Barita es un sulfato de bario natural, que se encuentra en yacimientos y que para su uso requiere en ocasiones de un beneficio.

CLASIFICACION Y ESPECIFICACIONES

Clasificación.

Para este caso, se clasifica en un solo tipo y grado de calidad.

Especificaciones.

Físicas.

En la siguiente tabla se indican las especificaciones físicas que debe cumplir el producto.

Concepto	Cantidad
Peso específico en g/cm^3	4.23 mínimo
Sólidos totales solubles como calcio, en p.p.m.	500.00 máximo
Granulometría:	
- Retenido en malla con abertura nominal de 0.074 mm. (*), en %	3.0 máximo
- Retenido en malla con abertura nominal de 0.044 mm. (*), en %	5.0 mínimo

* Las aberturas nominales de las cribas especificadas son las correspondientes a:

- 0.074 mm. a malla No. 200 ASTM
- 0.044 mm. a malla No. 325 ASTM

Muestreo.

Alcance.

Se establece el método de muestreo a seguir para comprobar la calidad de este material, el cual se efectuará en el lugar fijado de común acuerdo entre comprador y productor.

Definiciones.

Lote de entrega.

Es la cantidad total de sacos motivo de la transacción comercial o reclamación.

Lote unitario.

Está compuesto por 1 000 sacos o fracción.

Unidad de producto.

Es cada uno de los sacos de 50 kilos que constituyen el lote de entrega.

Muestra.

Es el conjunto de unidades de producto extraídas conforme a lo especificado en la parte correspondiente -

...

al tamaño de muestra, que deben someterse a inspección para determinar su calidad.

Especimen.

Es el conjunto de porciones de producto, extraídas de los sacos que componen la muestra, para formar la muestra representativa.

Muestra Representativa.

Es la mezcla del conjunto de especímenes.

Muestra Representativa Reducida.

La muestra representativa se reduce por cuarteos hasta aproximadamente un kilogramo, lo cual constituye la muestra representativa reducida.

Muestra Para Análisis.

Es la cuarta parte de la muestra representativa reducida, suficiente para verificar en ella todas las pruebas requeridas por esta Norma.

Aparatos.

Para tomar los especímenes:

- Recipientes apropiados.
- Sonda para muestrear sólidos (calador)
- Un saco de los utilizados para envase.

Para preparar la muestra para análisis:

- Charolas.
- Colector.
- Frascos de polietileno de boca ancha, de capacidad de un litro y cierre hermético.

Procedimiento.

Estibado.

Los lotes de entrega deben estar estibados - - como lotes unitarios de 1 000 sacos cada uno, de tal forma que el 100% de los sacos sea accesible al muestreo - por medio de su válvula, dejando un corredor libre entre estibas por lo menos de 50 cm. con una altura máxima de 16 camas.

Tamaño de muestra.

Para lotes de entrega menores de 1 000 sacos, el tamaño de muestra es la raíz cuadrada del número de sacos, seleccionados de acuerdo con lo especificado en la parte relacionada con la selección de unidades de producto.

Para lotes unitarios (1 000 sacos) el tamaño de muestra es de 32 sacos los cuales deben ser seleccionados de acuerdo con lo especificado en la parte relacionada con la selección de unidades de producto.

Selección de unidades de producto.

Para la selección de unidades de producto que constituyen el tamaño de muestreo se deben tomar como base las tablas de números aleatorios, siendo el programa de muestreo fijado por el comprador.

Criterio de aceptación y rechazo.

El criterio a seguir para la aceptación o rechazo del lote, será el siguiente: Se aceptará el lote si todos los resultados de las pruebas cumplen con las especificaciones de la Norma. Se rechazará si uno o más de los resultados de las pruebas no cumplen con la Norma.

Marcado.

Se debe imprimir en cada saco y en forma legible e indeleble lo siguiente:

- Nombre del producto y marca registrada.
- Peso en Kg.
- Número progresivo de lote de fabricación.
- Razón social del fabricante.
- La leyenda "HECHO EN MEXICO"

Envasado.

El producto debe ser envasado en sacos de 5 capas de papel Kraft, siendo la primera de ellas de 80 g/m^2 -

y las cuatro restantes de 70 g/m^2 . La tercera o cuarta de dichas capas deberá ser impermeabilizada por medio de una capa de plástico adherida al papel y tener un espesor mínimo de 0.0013 cm, los sacos deben tener válvula.- Cada saco debe tener una capacidad de 50 kilos netos - - + 5% de producto.

MÉTODOS DE PRUEBA

A continuación se darán los métodos de prueba con los que se verificarán las especificaciones de la Norma.

Métodos de Prueba para la Determinación de Peso Específico (Método de Le Chatelier).

Alcance.

Este método es aplicable para determinar el peso específico de polvos no solubles ni activos en el líquido empleado para la determinación.

...

Aparatos.

- Un matraz Le Chatelier.
- Material común de Laboratorio.
- Balanza con exactitud de 0.1 g.

Materiales.

- Aceite Diesel libre de humedad.

Preparación de la muestra.

Se pesan 80 ± 5 g. de barita, previamente secada a una estufa durante 2 horas a 105°C a peso constante.

Procedimiento.

El matraz Le Chatelier se lava perfectamente con aceite diesel y se llena con él hasta lo más cercano posible del cero de la escala.

Se coloca el matraz en un baño maría 10°C arriba de la temperatura de laboratorio, de manera que el menisco del líquido orgánico en el cuello del matraz, esté abajo del nivel del líquido del baño.

Se mantiene el matraz sumergido en el baño durante una hora.

Se hace la lectura inicial del volumen antes de 5_

...

segundos de sacado el matraz del baño.

Se vacían los 80 g. de barita en el matraz de tal manera que no quede ninguna partícula adherida al cuello. Se tapa y se agita suavemente, rotándolo sobre su base, para eliminar el aire que tenga la Barita y al mismo tiempo para tener la seguridad de que no queda ninguna partícula de muestra en el cuello del matraz.

Se vuelve a sumergir el matraz en el baño por media hora, se saca y nuevamente se agita tal como se ha indicado anteriormente.

Se vuelve a sumergir el matraz por una hora dentro del baño, después de lo cual se ve en la escala del cuello del matraz el volúmen final.

Cálculos.

Se calcula el peso específico de la muestra en la siguiente forma:

$$\text{Peso específico en g/cm}^3 = \frac{P}{V_f - V_i}$$

En donde:

- P = peso de la muestra, en g.
- V_f = volúmen final, en cm³.
- V_i = volúmen inicial, en cm³.

Método de Prueba para la Determinación de la Granu- lometría (Vía Húmeda).

Alcance.

Este método es aplicable para determinar la granu-
lometría de productos similares al mineral no metálico -
denominado Barita.

Aparatos.

- Serie de tamices certificados con abertura nominal de 0.074 y 0.044 mm.
- Vaso de precipitado de 600 ml.
- Vidrio de reloj de 9 cm. de diámetro.
- Estufa.

Materiales.

- Pirofosfato tetrasódico anhidro u otro dispersante.

Preparación de la muestra.

Se pesan 50 g. de barita que previamente ha sido
secada a peso constante.

Procedimiento.

Se transfiere la muestra a un vaso de precipitados de 600 ml. , se agregan 350 ml. de agua destilada, 0.2 g. de pirofosfato tetrasódico anhidro y se agita lentamente durante 5 minutos.

Se acomodan los tamices de manera que el primero sea el de abertura nominal de 0.074 mm. y el segundo el de 0.044 mm. Se transfiere la muestra sobre el primer tamiz y se lava con agua durante 5 minutos.

Se seca el primer tamiz en la estufa a $105 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante y se pasa el residuo a un vidrio de reloj previamente tarado.

Se pesa.

Se efectúa la misma operación con el segunda tamiz.

Cálculos.

Se calcula el residuo en % para cada uno de los tamices en la siguiente forma:

$$\% \text{ del Residuo} = \frac{\text{Peso del residuo} \times 100}{\text{Peso de la muestra.}}$$